



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

REACONDICIONAMIENTO E INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
INYECCIÓN GDI DEL BANCO MOTOR YES01 3111 ENFOCADO A LA
SIMULACIÓN DE FALLOS EN CASCADA PARA EL LABORATORIO DE
MOTORES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA SEDE
QUITO

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: KLEVER HERNÁN CLAVIJO ENRÍQUEZ
MICHAEL EDUARDO MOSQUERA APUNTE

TUTOR: EDGAR VICENTE ROJAS REINOSO

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Klever Hernán Clavijo Enríquez con documento de identificación N° 1727365098 y Michael Eduardo Mosquera Apunte con documento de identificación N° 1724939663 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de febrero del año 2024

Atentamente,



Klever Hernán Clavijo Enríquez
1727365098



Michael Eduardo Mosquera Apunte
1724939663

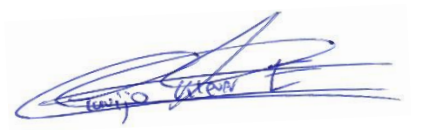
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros Klever Hernán Clavijo Enríquez con documento de identificación No.1727365098 y Michael Eduardo Mosquera Apunte con documento de identificación No. 1724939663, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Reacondicionamiento e instrumentación del sistema de inyección GDI del banco motor Yes01 3111 enfocado a la simulación de fallos en cascada para el laboratorio de motores de la carrera de Ingeniería Automotriz de la sede Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 18 de febrero del año 2024

Atentamente,



Klever Hernán Clavijo Enríquez
1727365098




Michael Eduardo Mosquera Apunte
1724939663

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edgar Vicente Rojas Reinoso con documento de identificación N° 0106065519 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REACONDICIONAMIENTO E INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN GDI DEL BANCO MOTOR YES01 3111 ENFOCADO A LA SIMULACIÓN DE FALLOS EN CASCADA PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA SEDE QUITO, realizado por Klever Hernán Clavijo Enríquez con documento de identificación N° 1727365098 y por Michael Eduardo Mosquera Apunte con documento de identificación N° 1724939663, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Edgar Vicente Rojas Reinoso, MSc.

0106065519

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres Klever Clavijo y Karina Enríquez quienes siempre me han apoyado y me brindaron la posibilidad de cumplir un sueño al seguir la carrera de ingeniería automotriz, a mi hermana Danna Clavijo por estar presente siendo un soporte fundamental para conseguir este logro, a mis abuelitos que con su amor han sabido acogerme y motivarme durante toda mi vida, inclusive aquellos que ahora no se encuentran en este espacio terrenal pero siempre los siento a mi lado cuidando de mi e impulsándome a ser día a día ese buen hombre en el cual prometí convertirme.

A mi docente tutor y demás educadores que con su guía, consejos y conocimientos han hecho posible que el proyecto se pudiera realizar con éxito. Y a todas las demás personas que han sido parte de mi vida durante esta etapa motivándome para cumplir la meta de convertirme en ingeniero.

Klever Hernán Clavijo Enríquez

Este trabajo dedico al mas todo poderoso que es dios, del mismo modo agradecer a mis padres Oscar Eduardo Mosquera y Ana María Apunte que con su apoyo incondicional me enseñaron a valorar las cosas que con sacrificio tengo. A mi hermano Ángel Francisco Mosquera por el ánimo que me brinda, a mis abuelos que me dieron el consejo más importante de la vida cuyo refrán es “El estudio es la mejor herencia que te puedo dejar”, a mi enamorada que siempre se encontró a mi lado a toda la familia que confiaron en mí, y a todas las personas que de una u otro brindaron su apoyo para llegar a ser profesional.

Al tutor del trabajo de titulación y otros docentes que colaboran con este proyecto que con sus consejos y enseñanzas disiparon todas las dudas que se fueron presentando al elaborarlo.

Michael Eduardo Mosquera Apunte

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar agradeciendo a Dios quien es mi pilar fundamental, mismo que me ha colmado de bendiciones a lo largo de mi vida, siendo una de ellas la posibilidad de llegar hasta este punto, alcanzando el objetivo anhelado.

Agradezco profundamente a mis padres por su amor, trabajo y sacrificio ya que son el motor que impulsa mis sueños y quienes me han hecho sentir respaldado al estar a mi lado en los días y noches más complicadas a lo largo de esta etapa de estudio. Son mis mejores mentores, y hoy, al culminar mis estudios, les dedico este logro como una meta alcanzada juntos. En pocas palabras, gracias por ser los mejores padres, es un orgullo ser su hijo.

De igual manera quiero expresar mi gratitud al docente tutor, el Ing. Vicente Rojas, por su apoyo, guía, compromiso y el tiempo dedicado de manera afectiva durante la elaboración del trabajo de titulación. Finalmente agradezco al grupo de docentes y laboratoristas de la carrera de ingeniería automotriz por la excelente calidad educativa que proporcionan al compartir sus conocimientos y experiencia.

Klever Hernán Clavijo Enríquez

Para llegar alto se tiene que ir de peldaño en peldaño en cada una de las pruebas de vida y llegar al día de mi graduación uno de mis éxitos personales para lo cual quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por la experiencia vida en sus aulas como al conocer personas y lo más importante adquirir conocimientos sólidos. De la misma manera a mi tutor, el Ing. Vicente Rojas que ha sido guía y apoyo para culminar y como no agradecer al todo poderoso quien puso a mis padres quienes son el apoyo incondicional.

Michael Eduardo Mosquera Apunte

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN	5
PROBLEMA.....	6
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Marco Teórico.....	8
Importancia de los bancos de simulación en la formación técnica.....	8
Control Electrónico del Motor (ECM)	9
El arnés automotriz.....	10
Actuadores.....	11
Sensores.....	12
Osciloscopio automotriz	14
Sistema de Inyección Directa de Gasolina (GDI)	14
Breve Historia.....	14
Principio de Funcionamiento y Componentes.....	15
Cámara de combustión de un motor con sistema GDI	16
Mejoras con respecto los sistemas MPFI	18
CAPÍTULO 1.....	19
IMPLEMENTACIÓN.....	19
1. Proceso de instrumentación del banco de motores.....	19
1.1. Características del motor utilizado en el proyecto.....	19
1.2. Implementación del banco de fallos en los sensores del sistema GDI	20
1.2.1. Sensor CKP.....	20
1.2.2. Sensor CMP.....	21

1.2.3. Sensor MAP.....	23
1.2.4. Sensor IAT.....	24
1.2.5. Sensor TPS	25
1.2.6. Sensor APP	26
1.2.7. Sensor ECT.....	28
1.2.8. Sensor KS	29
1.2.9. Sensor de presión del Riel	30
1.2.10. Sensor O ₂	31
1.3. Implementación del banco de fallos en los actuadores del sistema GDI.....	33
1.3.1. Inyectores.....	34
1.3.2. Bobinas	35
1.3.3. Válvulas de control de aceite OCV	37
CAPÍTULO 2.....	39
IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE MOTORES.....	39
2. Detalle de la instrumentación realizada al banco de motores.....	39
2.1. Código de colores del arnés de cableado	39
2.2. Instrumentación implementada en los sensores del sistema GDI.....	40
2.2.1. Sensor CKP.....	40
2.2.2. Sensores CMP.....	41
2.2.3. Sensores MAP e IAT	44
2.2.4. Sensor TPS	45
2.2.5. Sensor APP	47
2.2.6. Sensor ECT.....	49
2.2.7. Sensor KS	50
2.2.8. Sensor de presión del riel de combustible	51
2.2.9. Sensores O ₂	52

2.3.	Descripción de la instrumentación realizada en los actuadores del sistema GDI.	55
2.3.1.	Inyectores.....	55
2.3.2.	Bobinas	57
2.3.3.	Válvulas de control de Aceite OCV	59
2.4.	Estado de los elementos incorporados al banco de motores YES01 3111	61
CAPÍTULO 3.....		63
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		63
3.1.	Proceso de pruebas.....	63
3.2.	Análisis de datos y oscilogramas	64
3.3.	Comportamiento del control electrónico del motor G4KJ en condición de marcha mínima durante el efecto producido por fallas sobre sensores y actuadores.....	65
3.3.1.	Funcionamiento normal sin fallos	65
3.3.2.	Fallo producido en inyectores.....	69
3.3.3.	Fallo producido en bobina de encendido.....	73
3.3.4.	Fallo en sensor de presión del riel de combustible (RPS).....	76
3.4.	Comportamiento del control electrónico del motor G4KJ con régimen de giro de 2500 rpm durante el efecto producido por fallas sobre sensores y actuadores.....	80
3.4.1.	Funcionamiento normal sin fallos	80
3.4.2.	Fallo en inyectores.....	84
3.4.3.	Fallo producido en bobina de encendido.....	87
3.4.4.	Fallo en sensor de presión del riel de combustible (RPS).....	91
CONCLUSIONES		96
RECOMENDACIONES		97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.		98
ANEXOS.		1-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0.1: Sistema de Inyección GDI	16
Figura 0.2: Cámaras de Combustión GDI	17
Figura 1.1: Diagrama de CKP	21
Figura 1.2: Diagrama y Conector de CMP de admisión	22
Figura 1.3: Diagrama y conector de CMP de escape	23
Figura 1.4: Diagrama y conector de sensor MAP	24
Figura 1.5: Diagrama y conector de sensor IAT	25
Figura 1.6: Diagrama y conector de sensor TPS	26
Figura 1.7: Diagrama y conector de sensor APP	27
Figura 1.8: Diagrama y conector de sensor ECT	29
Figura 1.9: Diagrama y conector de sensor KS	30
Figura 1.10: Diagrama y conector de sensor RPS	31
Figura 1.11: Diagrama y conector de sensores de oxígeno (O ₂)	33
Figura 1.12: Diagrama de los inyectores	35
Figura 1.13: Diagrama de las bobinas de encendido	37
Figura 1.14: Diagrama y Conector de OCV de admisión	38
Figura 1.15: Diagrama y Conector de OCV de escape	38
Figura 2.1: Diagrama de instrumentación en Sensor CKP	41
Figura 2.2: Diagrama de instrumentación en sensor CMP de admisión	42
Figura 2.3: Diagrama de instrumentación en sensor CMP de escape	43
Figura 2.4: Diagrama de instrumentación en sensores MAP e IAT	44
Figura 2.5: Diagrama de instrumentación en sensor TPS	46
Figura 2.6: Diagrama de instrumentación en sensor APP	48
Figura 2.7: Diagrama de instrumentación en sensor ECT	49
Figura 2.8: Diagrama de instrumentación en sensor KS	50
Figura 2.9: Diagrama de instrumentación en sensor RPS	51
Figura 2.10: Diagrama de instrumentación en sensor O ₂ pre-catalítico	53

Figura 2.11: Diagrama de instrumentación en sensor O ₂ post-catalítico	54
Figura 2.12: Diagrama de instrumentación en inyectores	56
Figura 2.13: Diagrama de instrumentación en bobinas de encendido	58
Figura 2.14: Diagrama de instrumentación en las OCV de admisión	60
Figura 2.15: Diagrama de instrumentación en las OCV de escape	61
Figura 2.16: Banco Generador de fallos y medidores de tensión	62
Figura 2.17: Interfaz ELM 327 y tableta con software Torque	62
Figura 3.1: Oscilograma de inyector en condiciones de ralentí sin fallos	66
Figura 3.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí sin fallos	67
Figura 3.3: Oscilograma de inyector en condiciones de ralentí con fallo en otro inyector	69
Figura 3.4: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre un inyector	71
Figura 3.5: Oscilograma de inyector en condiciones de ralentí con fallo en una bobina	73
Figura 3.6: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre otra bobina del sistema de encendido COP	74
Figura 3.7: Oscilograma de inyector en marcha mínima con avería en el sensor RPS	77
Figura 3.8: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de marcha mínima con avería en el sensor RPS	78
Figura 3.9: Oscilograma de inyector a 2500 rpm sin fallos	81
Figura 3.10: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm sin fallos	82
Figura 3.11: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en otro de los inyectores	84
Figura 3.12: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en inyector	85
Figura 3.13: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en una bobina	88
Figura 3.14: Oscilograma de bobina de encendido a 2500 rpm con fallo sobre otra bobina	89
Figura 3.15: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con avería en el sensor RPS	92
Figura 3.16: Oscilograma de bobina de encendido a 2500 rpm con avería en el sensor RPS	93
Figura A1.1: Oscilograma de Inyector en marcha mínima con avería en el sensor CKP	1-1
Figura A1.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor CKP	1-3

Figura A2.1: Oscilograma de inyector en marcha mínima con fallo en el sensor TPS	1-5
Figura A2.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor TPS	1-7
Figura A3.1: Oscilograma de inyector en ralentí con fallo en los sensores MAP e IAT	1-9
Figura A3.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre los sensores MAP e IAT	1-11
Figura A4.1: Oscilograma de inyector en ralentí con fallo en el sensor ECT	1-13
Figura A4.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor ECT	1-15
Figura A5.1: Oscilograma de inyector en ralentí con fallo en el sensor APP	1-17
Figura A5.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor APP.....	1-19
Figura A6.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con avería en el sensor CKP	1-21
Figura A6.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en CKP	1-23
Figura A7.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en el sensor TPS.....	1-25
Figura A7.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en TPS	1-26
Figura A8.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en los sensores MAP e IAT.....	1-29
Figura A8.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en MAP e IAT	1-30
Figura A9.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en el sensor ECT	1-33
Figura A9.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en sensor ECT	1-34
Figura A10.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en el sensor APP	1-37
Figura A10.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en APP.....	1-38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Motor G4KJ de Hyundai	19
Tabla 2.1: Codificación de colores para arnés	39
Tabla 2.2: Cables conectados a CKP	41
Tabla 2.3: Cables conectados a CMP de admisión	42

Tabla 2.4: Cables conectados a CMP de escape	43
Tabla 2.5: Cables conectados a MAP e IAT.....	45
Tabla 2.6: Cables conectados al TPS.....	47
Tabla 2.7: Cables conectados al APP	48
Tabla 2.8: Cables conectados al ECT	50
Tabla 2.9: Cables conectados al KS	51
Tabla 2.10: Cables conectados al RPS	52
Tabla 2.11: Cables conectados a O ₂ pre-catalítico	53
Tabla 2.12: Cables conectados a O ₂ pre-catalítico.....	54
Tabla 2.15: Cables conectados a la OCV de admisión	60
Tabla 2.16: Cables conectados a la OCV de escape	61
Tabla 3.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí	66
Tabla 3.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido en ralentí	67
Tabla 3.3: Valores característicos del flujo de datos en ralentí.....	68
Tabla 3.4: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con fallo producido en inyectores	70
Tabla 3.5: Valores característicos del oscilograma de la bobina en ralentí con fallo producido en Inyectores.....	71
Tabla 3.6: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del inyector	72
Tabla 3.7: Valores característicos del oscilograma del Inyector en ralentí con fallo producido sobre Bobina de encendido	73
Tabla 3.8: Valores característicos del oscilograma de la Bobina en ralentí al producir fallo sobre otra Bobina de encendido	75
Tabla 3.9: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo de la bobina de encendido	76
Tabla 3.10: Valores característicos del oscilograma del Inyector en ralentí con fallo producido en RPS	77
Tabla 3.11: Valores característicos del oscilograma de la Bobina en ralentí al producir fallo en el sensor RPS	79
Tabla 3.12: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor RPS.....	80

Tabla 3.13: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm	81
Tabla 3.14: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido a 2500 rpm	82
Tabla 3.15: Variables de respuesta de mayor relevancia sin fallo a 2500 rpm.....	83
Tabla 3.16: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con fallo producido en inyectores	84
Tabla 3.17: Valores característicos del oscilograma de la bobina a 2500 rpm con fallo producido en inyector	86
Tabla 3.18: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del inyector	87
Tabla 3.19: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con fallo en bobina de encendido	88
Tabla 3.20: Valores característicos del oscilograma de la bobina a 2500 con fallo sobre otra bobina de encendido	90
Tabla 3.21: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo de la bobina de encendido	91
Tabla 3.22: Valores característicos del oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo producido en RPS	92
Tabla 3.23: Valores característicos del oscilograma de la bobina a 2500 rpm con fallo en el sensor RPS	94
Tabla 3.24: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor RPS.....	95
Tabla A1.1: Valores característicos del oscilograma del Inyector en ralentí con fallo en CKP	1-1
Tabla A1.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí al producir fallo en el sensor CKP.....	1-3
Tabla A1.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor CKP	1-4
Tabla A2.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en TPS	1-5
Tabla A2.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en el sensor TPS	1-7
Tabla A2.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor TPS	1-8
Tabla A3.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en MAP e IAT	1-9
Tabla A3.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en los sensores MAP e IAT	1-11

Tabla A3.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor MAP e IAT	1-12
Tabla A4.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en ECT .	1-13
Tabla A4.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en el sensor ECT	1-15
Tabla A4.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor ECT	1-16
Tabla A5.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en APP .	1-18
Tabla A5.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en el sensor APP	1-19
Tabla A5.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor APP	1-20
Tabla A6.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con fallo en CKP	1-21
Tabla A6.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en el CKP	1-23
Tabla A6.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor CKP	1-24
Tabla A7.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en TPS	1-25
Tabla A7.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con avería en TPS	1-27
Tabla A7.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor TPS	1-28
Tabla A8.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en MAP e IAT	1-29
Tabla A8.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido a 2500 rpm con avería en MAP e IAT	1-31
Tabla A8.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor MAP e IAT	1-32
Tabla A9.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en ECT ..	1-33
Tabla A9.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con avería en el sensor ECT	1-35
Tabla A9.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor ECT	1-36
Tabla A10.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en APP	1-37

Tabla A10.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con avería en el sensor APP..... 1-39

Tabla A10.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor APP..... 1-40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fallo en sensor de posición del cigüeñal CKP en ralentí..... 1-1

Anexo 2. Fallo en sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS en ralentí 1-5

Anexo 3. Fallo en sensores MAP e IAT en ralentí 1-9

Anexo 4. Fallo en sensor ECT en ralentí 1-13

Anexo 5. Fallo en sensor APP en ralentí 1-17

Anexo 6. Fallo CKP a 2500 rpm 1-21

Anexo 7. Fallo TPS a 2500 rpm 1-25

Anexo 8. Fallo MAP e IAT a 2500 rpm 1-28

Anexo 9. Fallo ECT a 2500 rpm 1-32

Anexo 10. Fallo APP a 2500 rpm..... 1-36

RESUMEN

Los vehículos en los últimos años poseen una gran cantidad de instrumentación electrónica que apunta al control del funcionamiento del motor para alcanzar una mayor eficiencia minimizando el consumo de combustible y la cantidad de emisiones contaminantes producidas por un MEP, pues gracias a la implementación de sensores, actuadores y unidades de control electrónica se puede conocer el estado del motor durante su funcionamiento ajustando de manera activa diversos parámetros que permiten cumplir con estos objetivos.

La comunicación entre sensores, actuadores y unidades de control electrónica incorporados en los vehículos es posible gracias a los arneses de cables, los cuales por ende son un ente de vital importancia para el funcionamiento correcto de los distintos sistemas del vehículo especialmente en el motor.

Los avances tecnológicos implementados en el vehículo no han sido solo electrónicos, sino que estos van de la mano con la innovación en sistemas mecánicos, un ejemplo de ello es el sistema de inyección directa de combustible GDI el cual hace uso de la mecánica al elevar la presión del combustible mediante una bomba y de la electrónica para el sensado de la presión del sistema y control del funcionamiento del inyector, todo ello enfocado en mejorar el rendimiento del motor.

El conocimiento sobre los sistemas de inyección directa de combustible GDI cobra importancia ya que en Ecuador sufrieron un crecimiento exponencial en el mercado a partir del año 2015, pues varias marcas de vehículos tales como Hyundai, Kia, Mazda, Volkswagen, comenzaron a incluir este sistema en sus vehículos especialmente de alta gama.

La implementación del proyecto permite recrear averías en sensores y actuadores del motor G4KJ dispuesto en el banco Yes01 3111 mediante la elaboración de un generador de fallos en cascada, haciendo uso de metodologías analítica, deductiva y descriptiva que permitan interpretar los diagramas de conexión del fabricante y generar nuevos donde se incluya los elementos implementados describiendo cual su funcionamiento esperado.

El análisis que se realiza en el presente proyecto sobre los datos obtenidos gracias a la metodología experimental, permite conocer la incidencia que tiene cada uno de los sensores y actuadores en la gestión electrónica del motor G4KJ de Hyundai con principal enfoque en el comportamiento del inyector y bobina de encendido ya que este incorpora un sistema de inyección GDI, pero más importante que las cifras es el crear conciencia sobre la importancia de la electrónica en el vehículo y el por qué los bancos didácticos son herramientas indispensables en la formación de técnicos automotrices debido al apresurado avance tecnológico de la industria.

Palabras Claves: Motor de combustión, sensor, actuador, ECM, control electrónico, sistema GDI, oscilograma.

ABSTRACT

Vehicles in recent years have a large amount of electronic instrumentation that aims to control engine operation to achieve greater efficiency by minimizing fuel consumption and the amount of pollutant emissions produced by a MEP, because thanks to the implementation of sensors, actuators and electronic control units can know the status of the engine during operation actively adjusting various parameters to meet these objectives.

The communication between sensors, actuators and electronic control units incorporated in the vehicles is possible thanks to the wiring harnesses, which are therefore of vital importance for the correct operation of the various vehicle systems, especially in the engine.

The technological advances implemented in the vehicle have not only been electronic, but they go hand in hand with innovation in mechanical systems, an example of this is the GDI direct fuel injection system which makes use of mechanics to raise the fuel pressure by means of pump and electronics for the system pressure census and control of the injector operation, all focused on improving engine performance.

Knowledge about GDI direct fuel injection systems becomes important since in Ecuador they underwent an exponential growth in the market since 2015, as several vehicle brands such as Hyundai, Kia, Mazda, Volkswagen, began to include this system in their vehicles, especially high-end vehicles.

The implementation of the project allows to recreate failures in sensors and actuators of the G4KJ motor in the Yes01 3111 bench through the elaboration of a cascade failure generator, using analytical, deductive and descriptive methodologies that allow to interpret the manufacturer's connection diagrams and to generate new ones where the implemented elements are included, describing their expected operation.

The analysis carried out in this project on the data obtained thanks to the experimental methodology, allows to know the incidence that each one of the sensors and actuators has on the electronic management of the Hyundai G4KJ engine with main focus on the behavior

of the injector and ignition coil since it incorporates a GDI injection system, but more important than the figures is to create awareness about the importance of electronics in the vehicle and why the didactic benches are indispensable tools in the training of automotive technicians due to the rapid technological advancement of the industry.

Keywords: Combustion engine, sensor, actuator, ECM, electronic control, GDI system, oscillogram.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gestión electrónica del motor es primordial para maximizar la eficiencia del proceso de combustión obteniendo con ello una reducción del consumo de combustible y de emisiones contaminantes producidas, todo esto se logra gracias a elementos tales como sensores, actuadores, unidades de control y arnés de cables que permite la intercomunicación entre todos ellos, en tal virtud resulta de vital importancia que un ingeniero automotriz conozca el comportamiento de dichos elementos para poder efectuar diagnósticos y ofrecer soluciones. El presente trabajo ha sido desarrollado en el banco de motores Yes01 3111 de la carrera de Ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito los cuales no cuentan con un sistema que permita producir fallos y que además debido al uso pedagógico se encuentran deteriorados, esta situación nos ha permitido repotenciar el banco e implementar un generador de fallos que permita recrear averías sobre sensores y actuadores de manera puntual para analizar su incidencia sobre la gestión del motor y su funcionamiento.

El Capítulo 1 contiene una investigación detallada acerca de los sensores y actuadores que posee el motor G4KJ donde se muestran principales características, diagramas de conexión del fabricante y los valores de tensión que posee cada línea de comunicación, mencionando además la línea a interrumpir para generar la avería de cada elemento respectivamente.

El Capítulo 2 describe la implementación del banco generador de fallos y la intervención realizada haciendo uso de la metodología descriptiva, a partir de los diagramas de conexión elaborados para cada uno de los sensores y actuadores en los que se incluyen todos los elementos añadidos con la realización del proyecto.

El Capítulo 3 detalla el análisis de resultados obtenidos del post-procesamiento de los datos experimentales, enfocados en el comportamiento del inyector del sistema GDI y de la bobina de encendido del sistema COP al producir fallos sobre los distintos sensores y actuadores del control electrónico del motor. Finalmente, la sección de conclusiones sintetiza cuáles son los sensores y actuadores que poseen una mayor incidencia sobre el comportamiento de la gestión electrónica del motor con base a la tasa de cambio de los datos obtenidos

PROBLEMA

En la actualidad existe una gran cantidad de talleres y centros de diagnóstico automotriz que continúan siendo de calidad o índole empírica, motivo por el cual, el mantenimiento correctivo de los distintos sistemas de control electrónico que incorporan los vehículos se ven alterados en su estructura de trabajo idóneo, puesto que, no se prevé un diagnóstico adecuado de los parámetros de funcionamiento acorde a la generación a la cuál pertenecen cada uno de los distintos sistemas de inyección, esto debido al desconocimiento o desactualización de información por parte de los técnicos, pues, el desarrollo de la tecnología automotriz es cada vez más acelerado en cada uno de los distintos parámetros que influyen en sistemas de automoción. Por lo cual, una adecuada capacitación acorde al desarrollo y evolución de las tecnologías actuales resulta aún más inherente sobre todo en el proceso de reparación o diagnóstico, ya que, el tener acceso a simuladores de funcionamiento real de estos sistemas asegura un trabajo más eficiente, fundamentado y preciso por parte de los técnicos.

A pesar de que los sistemas GDI se comercializan potencialmente en el mercado ecuatoriano desde el año 2015, actualmente el conocimiento sobre diagnóstico y reparación de estos es muy limitado, debido a la carencia de acceso a simuladores que recreen de manera real los parámetros de funcionamiento característicos de este tipo de sistemas de inyección, especialmente bajo condiciones de fallo que se pueden presentar en los distintos elementos que integran el sistema de control electrónico del vehículo (Erazo et al., 2015).

Delimitación del problema.

El proyecto mejorará el proceso de aprendizaje de los estudiantes y profesionales en sus fases de actualización o posgrado mediante la reducción de tiempo en la realización de prácticas pedagógicas desarrolladas por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito campus sur contribuyendo a una mayor comprensión del tema de estudio y a su vez preservando el buen estado de los bancos de motores utilizados en las prácticas.

Objetivo General.

Reacondicionar e instrumentar el sistema de inyección GDI del banco motor Yes01 3111 enfocado a la simulación de fallos en cascada para el Laboratorio de Motores de la carrera de Ingeniería Automotriz de la sede Quito

Objetivos Específicos.

- Adquirir fundamentación teórica referente a la gestión electrónica del motor y los sistemas de inyección GDI.
- Modificar el banco de motores Yes01 3111 incorporando un generador de fallos que actúe sobre el sistema de control electrónico del motor.
- Desarrollar un manual correspondiente a señales y valores de voltaje de los distintos sensores y actuadores del sistema GDI con encendido COP implementado en el banco de motores Yes01.
- Sintetizar los resultados obtenidos en el proceso de experimentación al producir fallos en sensores y actuadores del sistema de control electrónico del motor.

Marco Teórico

Importancia de los bancos de simulación en la formación técnica

El continuo y acelerado desarrollo tecnológico del parque automotor ha causado la necesidad de actualizar los conocimientos técnicos en el sector automotriz, pues en el anuario de (Baldeón et al., 2023) el cual recopila información durante el periodo 2011 – 2022 muestra de manera estadística el crecimiento exponencial del parque automotor ya que en este informe es posible apreciar que en el año 2022 la venta de vehículos livianos alcanzo la cifra de 123.179 unidades en todo el Ecuador siendo Pichincha la provincia en la cual se registró el mayor número de venta de vehículos livianos a nivel nacional con un total de 51.312, siendo los más vendidos vehículos del tipo SUV, automóviles y camionetas, todos estos vehículos incorporan innovaciones tecnológicas añadidas por los fabricantes.

La formación de técnicos automotrices no se limita al componente teórico ya que para afianzar los conocimientos adquiridos en la teoría es necesario vincularlos con la práctica es aquí donde cobra importancia los bancos de simulación sobre todo aquellos que permiten analizar los parámetros de funcionamiento de distintos sistemas del motor o vehículo de manera real, los fabricantes de vehículos han incorporado distintos sistemas enfocados en optimizar el consumo de combustibles y reducir las emisiones contaminantes estos dos factores son fundamentales para los campos de innovación y desarrollo de tecnologías automotrices motivadas principalmente en lograr un máximo aprovechamiento de los combustibles y la reducción de emisiones contaminantes que resultan del proceso de combustión de un motor de combustión interna (Blumberg et al., 2016), por esta razón surge la necesidad de añadir un sistema de control electrónico cada vez más preciso que monitoree y garantice un funcionamiento óptimo de los motores, es así que el proporcionarle acceso al técnico en proceso de formación a un banco de simulación de fallos en cascada le permite experimentar e identificar de manera directa las afectaciones que sufre el motor en su funcionamiento al alterar ciertos parámetros referentes a los distintos sensores y actuadores que componen tanto el sistema de inyección electrónica, el sistema de encendido y el sistema de control electrónico sobre todo en la admisión y escape, motivando la capacitación continua y vanguardista acorde a las nuevas tecnologías (Barbecho, 2022).

Control Electrónico del Motor (ECM)

Los sistemas de inyección a carburador acompañaron al vehículo desde los motores de explosión el auge se debe al interés de la aviación por la inyección el producir la mezcla Aire-combustible. Se inicia una indagación puesto que en los años 70 el vehículo era una de las fuentes que más contaminación creaba para el medio ambiente, llevado a cabo en los años 80 un hito importante en la industria automotriz, dándose cuenta los ingenieros de la época que integrando varios sensores se podía estar verificando la información necesaria para un funcionamiento adecuado. Dicha información la tenía que recibir lo que llamaría como unidad de control, ya para el año 1990 los sistemas evolucionaron a más complejos, dando partida a una memoria flash que podía ser actualizada guardando dicha información en la ROM, más tarde nacería la unidad de control electrónica ECU.

El sistema electrónico del motor en vehículos de inyección electrónica es uno de los elementos cruciales en la parte de gestión del motor, en que se concentra el software de programación del fabricante el cual ha determinado rangos de funcionamiento, parámetros cruciales en el óptimo funcionamiento del motor para el fin que fue desarrollo. La industria automotriz bajo exigencias de menor contaminación por fuentes móviles (automotores) se ve en la necesidad de desarrollar vehículos que cumplan con norma ambientales, sin dejar de lado el desempeño, confort y comodidad de los usuarios. La reducción de elementos cuyo accionamiento mecánico se encontrara limitado para ahora ser reemplazados por sistemas que se encuentran interconectados electrónicamente apoyando a la operatividad del vehículo, de manera que las unidades de control electrónico sean las que lleven a cabo los monitores y toma de decisiones bajo parámetros de óptima funcionamiento, la electrónica del vehículo suma una masa adicional al vehículo asiendo que las generaciones más modernas de algunos modelos de vehículos incrementen su peso. La linealidad del control electrónico, el funcionamiento de los distintos elementos donde se comanda de forma centralizada. Las acciones que se enviaran como también los valores de magnitud física que se trasformaran en magnitudes eléctricas para la interpretación correcta dentro de la unidad de control electrónica que el vehículo cuenta, la ECU garantizara algunas acciones imprescindibles para el funcionamiento como son: el encendido dando la corriente para la activación de la bobina, así como los pulsos adecuados a los inyectores y permitiéndole al motor mantener en marcha.

La ECM se encuentra formada por distintos elementos en cargados de las funciones esenciales como: los datos de entrada los cuales son los datos que los sensores envían. Por otra parte, se encuentran los conformadores de impulso elementos que se encargan de la tensión teniendo que pasar por un microordenador, pasa por una entrada y una salida. Los convertidores analógicos a digital cuya principal función es de convertir valores de tensión a una transformación de cifras o números. La unidad lógica de cálculo su función decae sobre las operaciones matemáticas y de cálculo haciendo variar los parámetros dentro de esta se encuentran junto al acumulador guardando datos en tiempo real, creando un historial de fallos y se encuentra formando parte de la unidad de control siendo la que recibe, envía y desarrolla operaciones. Contamos también con la ROM y la RAM esta última teniendo tres principales acciones guarda fallos, almacena información y es una agenda de apuntes. Los datos de salida información que es enviada hacia los actuadores, como también de esta forma parte los sensores y actuadores (Moreno Bustos Vannesa et al., 2015).

El arnés automotriz

Hablar de arnés de cables en vehículos de gestión electrónica, involucra el aumento del número, como también la recolección de información que es de vital importancia al momento de tomar decisiones por parte de los módulos. De modo que se envíen dichas acciones en magnitud eléctrica, cambiando a una magnitud física, las acciones efectuadas ese sin número de acciones que se desarrollan de manera simultánea, Dependerá: del aislamiento de los cables como la buena conductividad eléctrica que por cada cable circula. En la actualidad los vehículos buscan tener señales más limpias de manera que se ve en la necesidad de tener cables mallas y recubrimientos que aíslan las interferencias que en ellos se puedan producir. Cabe indicar que los cables dependerán de factores como se menciona: el tipo de cable y recubrimiento es de vital.

Al momento de realizar una reconexión o un recableado todo cuerpo genera una resistencia de manera que también se genera temperatura que podría ocasionar un accidente o corto circuito. Al realizar un empalme se habla de una mayor resistencia, al generar una suelta se debe mantener la simetría del cable evitando la resistividad procurando mantener las señales de escalas pequeñas comunicadas y se cense de manera incorrecta, es crucial en un empalme

entrelazar bien los hilos de cables. Con el aislamiento adecuado en una conexión y arnés de cable evitamos que las magnitudes eléctricas no se vean afectadas y poder que se inviten concentración de calor y un posible conato de incendio.

Actuadores

Se encuentran entre el procesamiento de la señal y la acción mecánica que efectúa el actuador transformado señales eléctricas voltaje, corriente, PWM. Esto se transformará en una señal que aporta información que fue previamente ajustada transformado en fenómenos físico como movimiento o chispa provenientes de la unidad de control, ajustada a los parámetros de funcionamiento los cuales son de proveniente de una potencia baja, conduciendo la potencia necesaria para poder convertir dicho proceso.

Una clasificación de actuadores se mencionó que es: por su funcionamiento, se encuentran los actuadores electromagnéticos, calefactores, electromotores, acústicos y pantalla de cristal líquido. También la clasificación siguiente es por la fuente que efectúa el actuador que son tres detalladas a continuación presión neumática, presión hidráulica y fuerza motriz eléctrica.

- **El inyector** elemento capaz de pulverizar el combustible en la cámara de combustión, adecuándose al momento exacto para mezclar el aire aspirado con el combustible que se inyecta, dependerá de la carga motor y presión de operación el cual para funcionar recibe pulsaciones negativas haciendo excitar una bobina que realiza la operación de apertura y cierre de la aguja del inyector mencionar que el inyector no es capaz de regular la presión ni el caudal.

- **La bobina de encendido** elemento capaz de transformar la tensión de 12 V proporcionada por la batería en un pico de tensión que alcanza el orden de los kilovoltios, creando una corriente lo suficientemente necesaria para provocar un salto de chispa de dando como consecuencia la ignición de la mezcla aire-combustible.

- **El sistema de válvulas VVTi**, encargada del control de la variación entre el adelanto al cierre de las válvulas y del mismo modo a la apertura de las mismas podemos manifestar que se puede contar con tecnologías que incorporan dicha válvula solo en el eje de levas de la admisión denominado VVTi, como en la tecnología denominada VVTi Dual el cual

mantiene el control en el eje de las levas de admisión como también en el eje de las levas de escape, el cual su funcionamiento se da por presión de aceite mediante un actuador llamado solenoide electro hidráulico, cuyo control se realiza mediante cálculos de la carga de motor (Chafuel Albaro Jhojan, 2022).

Sensores

Un dispositivo encargado de la recolección de datos alrededor del funcionamiento del motor enviando miles de datos por segundo hacia la unidad de control electrónico para proceder a ser analizada y procesada de acuerdo con las exigencias que se le da al motor (Llivicura Ávila John & Lupercio Jimbo Edgar, 2014).

- **El sensor ECT** sensor de temperatura del refrigerante del motor este sensor cambia su resistencia con respecto a la temperatura que maneja el refrigerante los podemos tener de dos tipos los cuales son NTC que por sus siglas responde al nombre de coeficiente negativo de temperatura, y el otro tipo denominado coeficiente de temperatura negativa. Cuyo sensor es decisivo en la toma de decisiones como la inyección de combustible, chispa de encendido entre otros.

- **Sensor de posición de la mariposa de acelerador** ubicada solidaria al eje del obturador convirtiendo el ángulo del pedal de acelerador en una señal eléctrica usando una resistencia de tipo variable similar a un potenciómetro a medida de la apertura de la mariposa el voltaje tiende a ir en aumento dicha señal será interpretada por la ECM para la corrección correspondiente para el adecuado ajuste dependiendo de las exigencias del conductor.

- **Sensor de posición del cigüeñal (CKP)** de tipo inductivo o de efecto Hall, es el encargado de indicar a la ECM el ángulo exacto al cual se encuentra el cigüeñal, así como las revoluciones por minuto información necesaria para determinar el tiempo de inyección, así como los avances al encendido como también los retrasos y del mismo modo a la inyección corroborando el punto adecuado del eje de levas cuando cuentan con los sistemas VVTi y VVTi Dual.

- **Sensor de posición del eje de levas (CMP)** emite una señal que se genera por un tipo de efecto Hall o inductivo dicha señal es necesaria para identificar la fase en la que se encuentran los cilindros trabajo conjunto que lo realiza con el sensor de posición del cigüeñal

determinando una correcta corroboración para la información obtenida sea tratada y enviada al sistema VVTi.

- **El sensor de golpeteo (KS)**, ubicado en el bloque motor el cual recopila información más crucial siendo la fase de combustión y se desea saber si existe ruidos o vibraciones indeseables dando como resultado una magnitud de voltaje, después de ser tratada dicha onda en la unidad de control electrónico mediante la amplitud y la frecuencia posterior se inicia las acciones ajustando parámetro de encendido.

- **Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)** el cual integra un chip con un diafragma de forma resistiva, por un lado el diafragma tiene un vacío definido perfectamente mientras el otro lado queda expuesto en el múltiple de admisión generando cambios de presión enviando una señal de voltaje se envía dicha información a la unidad de control electrónico interpretando estos cambio de presión de manera que a mayor presión (o menor vacío) aumentara el voltaje y viceversa, en la ECU se tiene integrado un convertidor de señal analógica a digital para poderla leer dicha señal.

- **Sensor (IAT)**, el aire que ingresa por la admisión también tiene que ser monitoreado para ello se tiene un sensor de temperatura del aire el cual cualifica la temperatura del aire de la admisión importante en arranques en frío y también cuando el motor alcanza la temperatura optima de funcionamiento.

- **Sensor de Oxígeno o sonda lambda**, la cantidad de concentración de oxígeno en la salida de los gases de escape es de importancia de acuerdo a las normativas ambientales que rige en cada país, al principio en el año 1976 se integra de dicho sensor se habla de un solo sensor denominado pre catalítico o antes del catalizador el cual envía información que puede estar entre mezcla rica y mezcla pobre, la ECU utiliza dicha información para una mezcla optima de aire combustible y por otro lado hablar del sensor de oxígeno que se encuentra después del catalizador, este es de señal plana y tiene como misión fundamental informar el estado del convertidor catalítico, el sensor de banda ancha que con el que cuenta el motor empleado en la realización del proyecto contiene un calentador de zirconio el cual inmediatamente pone en funcionamiento al sensor se oxigeno añadiendo calor necesario para el censado correcto (Bosch, 2018).

Osciloscopio automotriz

Instrumento de diagnóstico automotriz por imagen el cual permite la visualización de señales eléctricas en un tiempo determinado, cuya función es poder mostrar los fenómenos temporales e indicando ondas de sensores actuadores a través de un canal de entrada. Entre los parámetros que podemos adquirir con dicho instrumento tenemos la frecuencia, periodo, amplitud, picos de voltaje altos y mínimos. La grafica que se obtendrá en la pantalla se delimita por ejes de coordenadas X el cual es un eje vertical y está ligado a la tensión mientras por otro lado se tiene en el eje horizontal representado la variación del tiempo, posterior a un tratamiento interno del equipo de diagnóstico se realizara la representación gráfica en la pantalla del instrumento (Narváez Moreno José & Narváez Clerque Ismael, 2019).

Sistema de Inyección Directa de Gasolina (GDI)

Es un sistema empleado en los motores de combustión de encendido provocado MEP, su denominación proviene de las siglas en inglés (Gasoline Direct Injection) pues como su nombre lo indica la particularidad que presenta esta tecnología en los sistemas de inyección radica en que el combustible es inyectado de manera directa al interior del cilindro en la fase de compresión con la finalidad de aprovechar la temperatura elevada y la turbulencia que se crea al interior del cilindro para alcanzar una mezcla más homogénea, rápida y efectiva del aire y el combustible (Nogués, 2010).

Breve Historia

Esta tecnología ha sido perfeccionada a causa de una evolución que se ha llevado a cabo durante décadas pues la primera aparición de un sistema de inyección directa tuvo lugar en la aviación en el año de 1939, pero no sería hasta el año de 1952 donde esta tecnología fue empleada en un motor de dos tiempos de 600 cc el cual era montado sobre un vehículo denominado Gutbrod, dos años después sería la marca Mercedes Benz quien daría el salto innovador al implementar el sistema GDI en su modelo deportivo 300 SL (Alas de Gaviota) el cual incorporaba un sistema de inyección directa de la marca BOSCH, la implementación exponencial de los sistemas GDI por parte de los fabricantes tendría lugar en el año de 1999 pues para ello ya se habría creado el sistema de inyección electrónica el cual anexado a la

idea de una inyección directa dio lugar al sistema definitivo GDI controlado electrónicamente con la finalidad de reducir el consumo de combustible y la producción de emisiones contaminantes, por ello se ha comercializado con éxito desde el año 2000 hasta la actualidad con la adición de nuevas tecnologías (Cadme & Cornejo, 2022). En Ecuador este tipo de sistemas de inyección experimentaron una rápida expansión a partir del año 2015 donde varias marcas de vehículos como Hyundai, Kia, Mazda y Volkswagen lo incluyeron especialmente en sus vehículos de gama alta (Erazo et al., 2015).

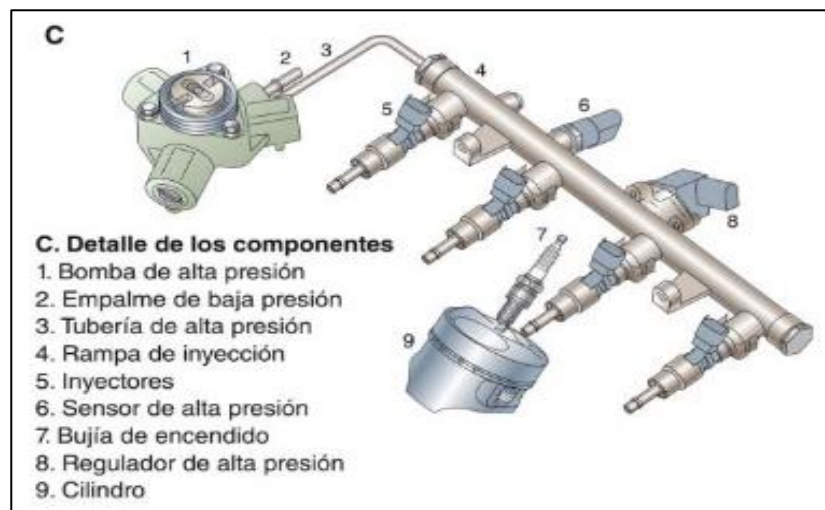
Principio de Funcionamiento y Componentes

Para conseguir inyectar el combustible al interior del cilindro es necesaria una gran presión mucho mayor a la presión que maneja usualmente un sistema de inyección indirecta, el incremento de la presión se consigue gracias a una bomba de alta presión que se alimenta de una bomba eléctrica usualmente alojada al interior del tanque de combustible, esta última envía el combustible a baja presión aproximadamente 6,5 bares hacia la bomba de alta presión la cual provee de combustible a una riel o rampa de inyección donde se alojan los inyectores que por control de la centralita electrónica se encarga de atomizar el combustible y dosificarlo para que este se mezcle con el aire que ha ingresado en la fase de admisión en una zona determinada de la cámara de combustión con la finalidad de lograr una combustión completa. La presión con la que se encuentra el combustible en el riel, y la presión de inyección, oscila con relación a las condiciones de funcionamiento del motor y el tipo de sistema (Fabricante), pero de manera general se dice que esta presión varía entre los 40 y 200 bar (Alvite & Revilla, 2023).

La inyección se produce al inicio de la carrera de compresión cuidando de que exista el tiempo suficiente para que el combustible pulverizado se evapore y mezcle de manera homogénea con el aire ($\lambda = 1$), para ello el mando del funcionamiento de los inyectores lo realiza la unidad de control electrónico de gestión del motor ECM quien determina el instante de inicio de la inyección, el tiempo que el inyector ha de permanecer abierto y la presión a la cual el combustible debe ser inyectado, en función de una serie de valores de entrada (rpm, posición de la mariposa de aceleración, flujo de masa de aire, presión en el colector de admisión, entre otros). El control de la presión de inyección es posible gracias a un sensor que se aloja en el riel el cual informa a la ECM la presión a la que esta se encuentra

para que dicha presión sea regulada mediante una válvula que usualmente se ubica en el riel de inyección o en la bomba de alta presión según el sistema (Alvite & Revilla, 2023). Resulta inherente que el sistema GDI se encuentre conformado por un mayor número de componentes Figura 0.1 en comparación a un sistema de inyección MPFI además de que por las presiones que maneja las tuberías sean más robustas y con grandes requerimientos de estanqueidad (Rodríguez Melchor, 2012).

Figura 0.1: Sistema de Inyección GDI



Componentes del sistema de inyección directa, **Fuente:** (Alvite & Revilla, 2023)

Cámara de combustión de un motor con sistema GDI

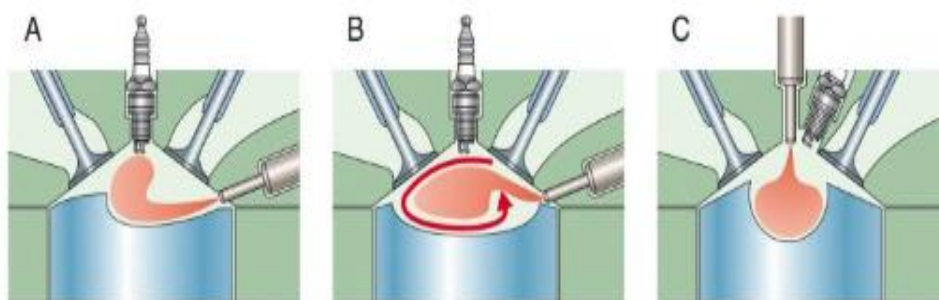
En el sistema GDI se busca mejorar el mezclado del aire y el combustible con el objetivo de generar una mezcla homogénea, para que esto suceda se requiere, alta temperatura al interior del cilindro, una inyección de combustible precisa, tiempo suficiente para que la gasolina atomizada se combine completamente con el aire y generación de turbulencia al interior del cilindro, esta última se relaciona de manera directa con la geometría constructiva del pistón y la posición relativa en la que se ubican el inyector y la bujía sobre la culata (Alvite & Revilla, 2023). Básicamente en motores que incorporan un sistema GDI existen tres conceptos para lograr una correcta turbulencia y direccionamiento del chorro de combustible:

Primer Concepto: Se lo denomina **guiado por pared** y en este, el factor determinante es la geometría de la cámara de combustión que se conforma por la cabeza del pistón y la culata, para esta configuración la cabeza del pistón suele tener una cuña deflectora de geometría compleja que finaliza con curvatura pronunciada la cual guía al chorro de inyección que ingresa desde un costado en dirección a la bujía, tal y como se lo muestra en la ilustración (A) de la Figura 0.2 (Alvite & Revilla, 2023).

Segundo concepto: Designado como **guiado por aire**, en el interviene la configuración geométrica de la cámara de combustión la cual debe ser capaz de formar un torbellino de aire al interior del cilindro como se muestra en la ilustración (B) de la Figura 0.2 ya sea en el eje vertical (swirl) o en el eje horizontal (tumble) siendo crucial para ello la forma geométrica de la cabeza del pistón que por lo general presenta una configuración toroidal misma que favorece a la formación de los efectos de swirl y tumble (Alvite & Revilla, 2023; Payri González & Desantes Fernández, 2011).

Tercer concepto: Se lo conoce como **guiado por el chorro**, en este mediante la ayuda electrónica el inyector puede controlar la forma del chorro en relación al tipo de inyección deseada y gracias a la estructura hemisférica con la que cuenta la cabeza del pistón el chorro es redirigido en combinación con el aire hacia la bujía como se lo indica en la ilustración (C) de la Figura 0.2, para poder lograr este concepto se necesita que el inyector esté dispuesto en una posición próxima al eje del cilindro por ello la bujía necesariamente deberá colocarse en un costado cercana a la válvula (Alvite & Revilla, 2023).

Figura 0.2: Cámaras de Combustión GDI



Tipos de flujo de mezcla al interior del cilindro, **Fuente:** (Alvite & Revilla, 2023)

Mejoras con respecto los sistemas MPFI

Los sistemas de inyección directa de gasolina poseen diversas ventajas con relación a un sistema de inyección indirecta multipunto de combustible MPFI, pues el sistema GDI reduce notoriamente el consumo de combustible (20 % inferior) y la cantidad de emisiones contaminantes producidas (CO₂ 10% inferior), a igual cilindrada, al mismo tiempo mejora el rendimiento y potencia del motor todo ello debido al perfeccionamiento en la mezcla de aire-combustible ya que trabajan con diversas cantidades de mezcla con un valor de lambda que oscila entre 1.6 y 3 dependiendo si se trata de una mezcla estratificada, homogénea u homogénea pobre en función de la carga del motor, con ello se permite un mayor ingreso de aire en la fase de admisión reduciendo el consumo. Mejora el rendimiento térmico del motor reduciendo las pérdidas de calor por las paredes del cilindro debido a que en el modo de mezcla estratificada la combustión tiene lugar únicamente en las zonas cercanas al salto de chispa. Debido a que la inyección se produce de manera directa en el cilindro se disminuye el calor del aire en la admisión lo que ayuda a reducir la probabilidad de detonación por lo cual es posible elevar la relación de compresión, esto también contribuye a incrementar la eficiencia térmica del motor. Un MCI que incorpora un sistema GDI posee una mayor eficiencia volumétrica debido a la extracción de calor presente en la cámara de combustión gracias a que la evaporación del combustible es casi total durante la fase de admisión, esto además contribuye a disminuir el golpeteo. El sistema GDI mejora el arranque en frío ya que no existe combustible residual en el colector de admisión (Cadme & Cornejo, 2022; Erazo et al., 2015).

CAPÍTULO 1

IMPLEMENTACIÓN

1. Proceso de instrumentación del banco de motores

En este proyecto se busca implementar un banco generador de fallos en cascada el cual actuara sobre cada uno de los sensores y actuadores que componen el sistema de control electrónico del motor con la finalidad de replicar un defecto producido en cualquiera de estos elementos en las condiciones de funcionamiento habituales de un vehículo, con ello se podrá identificar los síntomas y anomalías características en el comportamiento del motor y de manera especial como estos fallos inciden sobre el comportamiento del sistema GDI enfocado en el funcionamiento del inyector.

Para lograr conseguir replicar las fallas en los sensores y actuadores resulta indispensable conocer la manera en que estos se encuentran intercomunicados por medio del arnés de cables con la unidad de control electrónico del motor PCM, además es necesario identificar que representa cada uno de sus pines de conexión en cuanto a valores de voltaje se refiere.

1.1. Características del motor utilizado en el proyecto

Los bancos didácticos YES01 3111 incorporan un motor del tipo G4KJ perteneciente a la marca Hyundai que lo implemento en sus modelos de vehículos Grandeur y Sonata siendo este último el modelo comercializado en Ecuador por parte de dicha marca, en la Tabla 1 se muestran las características principales que posee este motor.

Tabla 1.1: Motor G4KJ de Hyundai

Cilindrada	2359 [Litros]
Sistema de alimentación de combustible	Inyección Directa GDI
Potencia de salida	201 [CV] a 6300 [RPM]
Torque o par de salida	250 [Nm] a 4250 [RPM]
Diámetro interior del cilindro	88 [mm]
Carrera del pistón	97 [mm]

Relación de compresión	11.3: 1
Estándares de normativa EURO	5

Especificaciones del motor con sistema GDI, **Fuente:** (Automotive Data, 2012).

1.2. Implementación del banco de fallos en los sensores del sistema GDI

Para lograr provocar un fallo en los sensores del sistema de control electrónico del motor resulta indispensable conocer el tipo de sensor que incorpora, que valores de voltaje se espera obtener y como se interpretan estos valores de voltaje que ingresan o son emitidos por cada uno de los pines de conexión del sensor para de esta manera identificar cual corresponde al terminal emisor de voltaje de señal que envía dicho valor hacia la unidad de control electrónica ECU para ser cotejado con los parámetros de funcionamiento programados por el fabricante ya que al identificar esta línea de comunicación se podrá interrumpir el paso de la señal hacia la unidad de control por medio de un interruptor para de esta manera causar la condición de fallo de dicho sensor. Por esta razón en este apartado se detallará las particularidades mencionadas para cada uno de los sensores que incorpora el motor G4KJ con sistema de inyección directa de combustible.

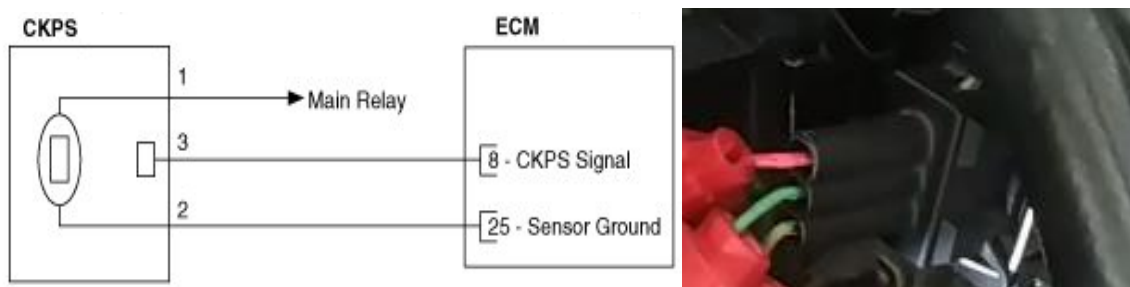
1.2.1. Sensor CKP

El motor GK4J incorpora un sensor de posición del cigüeñal del tipo Hall el cual se caracteriza físicamente por disponer de tres pines de conexión, uno de ellos conducirá un voltaje de referencia o señal que será enviado a la ECM, dicho voltaje es generado por el flujo magnético que se produce entre el sensor y la rueda fónica cuando el motor está en marcha. La rueda fónica para este motor consta de 58 ranuras y 2 ranuras faltantes que indican que el pistón del primer cilindro se encuentra al final de la carrera en el punto muerto superior.

Como se muestra en la Figura 1.1 el terminal 1 se encuentra conectado al relé principal por medio de un cable de color verde con una línea naranja y posee una tensión de 12 V la cual se utiliza para alimentar al sensor, el terminal 2 se conecta a la unidad de control del motor ECM por medio de un cable verde teniendo una tensión que oscila entre -0.3 y 0.5 V, por último el terminal de conexión 3 se conecta a la ECM mediante un cable rojo teniendo un

voltaje que oscila entre -0.3 a 0.5 V en bajo y entre 4.5 a 5.5 en alto cuando el motor esta encendido, por esta razón se determinó que el terminal que transporta la señal emitida por el sensor es el número 3 siendo esta la línea a la cual se le producirá la interrupción para generar el fallo.

Figura 1.1: Diagrama de CKP



Circuito de conexión entre CKP y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

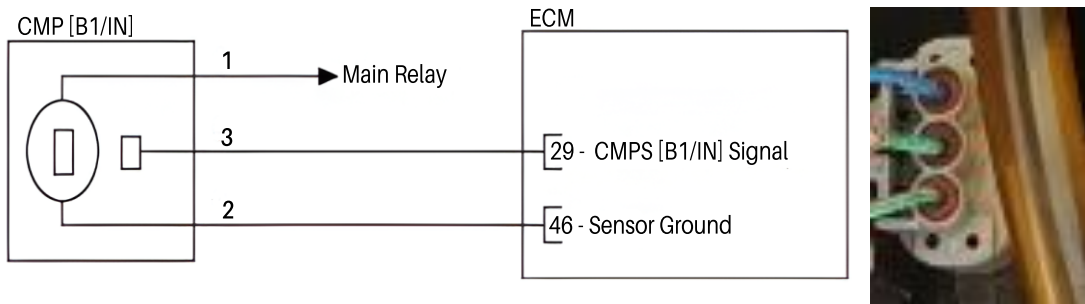
1.2.2. Sensor CMP

El motor empleado en el proyecto cuenta con dos sensores de posición del árbol de levas, uno correspondiente al árbol de levas de admisión y otro para el árbol de levas de escape, estos dos sensores son de tipo Hall por ello cada uno posee tres terminales de conexión de los cuales uno de estos es el encargado de transporta un valor de tensión referencial denominado señal hacia la ECM, la tensión referencial se origina gracias a una rueda objetivo o también llamada rueda fónica, ya que al pasar esta rueda cerca al sensor produce un cambio en el campo magnético del sensor ocasionando que este emita una señal en forma de onda cuadrada con valores de voltaje definidos. Los sensores CMP se encuentran alojados en la culata y son de mucha importancia para el control electrónico del motor puesto que se relaciona con el sensor de posición del cigüeñal ya que detectan la posición del pistón de cada cilindro que el CKP no haya sido capaz de identificar.

En la Figura 1.2 se muestra como el primer terminal (1) se conecta al relé principal mediante un cable de color verde con una línea anaranjada y posee una tensión de 12 V la cual se utiliza para energizar al sensor, el segundo terminal (2) está conectado a la ECM por medio de un cable de color verde conduciendo una tensión que oscila entre -0.3 y 0.5 V siendo esta la conexión a tierra del sensor, por último el tercer terminal (3) se comunica con la unidad

de control electrónico del motor a través de un cable de color azul con una franja de color anaranjado transportando un valor de tensión que varía entre -0.3 a 0.5 V en bajo y entre 4.5 a 5.5 V en alto cuando el motor esta encendido, debido a ello se determinó que el tercer terminal es el que transporta la señal cuadrada emitida por el sensor, siendo esta la línea a la cual se le producirá la interrupción para ocasionar el fallo.

Figura 1.2: Diagrama y Conector de CMP de admisión

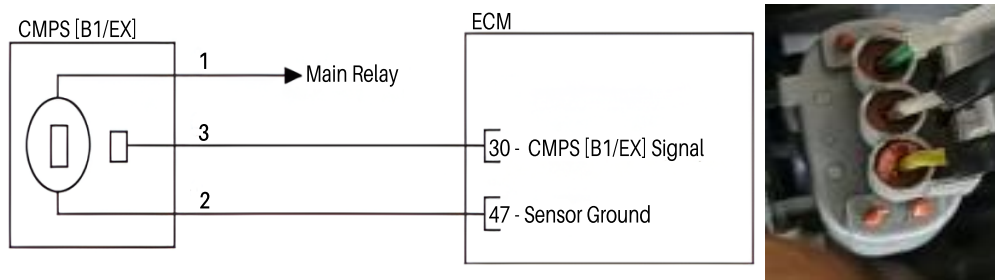


Circuito de conexión entre CMP del eje de levas de admisión y la ECM,

Fuente: (AutoZone, 2013), Autores

Para el CMP del eje de levas de escape como se indica en la Figura 1.3 el primer terminal se encuentra conectado al relé principal por medio de un cable de color verde con una línea anaranjada y posee una tensión de 12 V la cual se utiliza para dar energía al sensor, el segundo terminal se conecta a la unidad de control del motor ECM por medio de un cable blanco teniendo una tensión que oscila entre -0.3 y 0.5 V, por último el tercer terminal se conecta a la ECM mediante un cable amarillo conduciendo un valor de tensión que oscila entre -0.3 a 0.5 V en bajo y entre 4.5 a 5.5 en alto cuando el motor esta encendido, por esta razón se determinó que el terminal que transporta la señal emitida por el sensor es el número (3) siendo este el cable al cual se le producirá la interrupción para generar el fallo.

Figura 1.3: Diagrama y conector de CMP de escape



Circuito de conexión entre CMP del eje de levas de escape y la ECM,

Fuente: (AutoZone, 2013), Autores

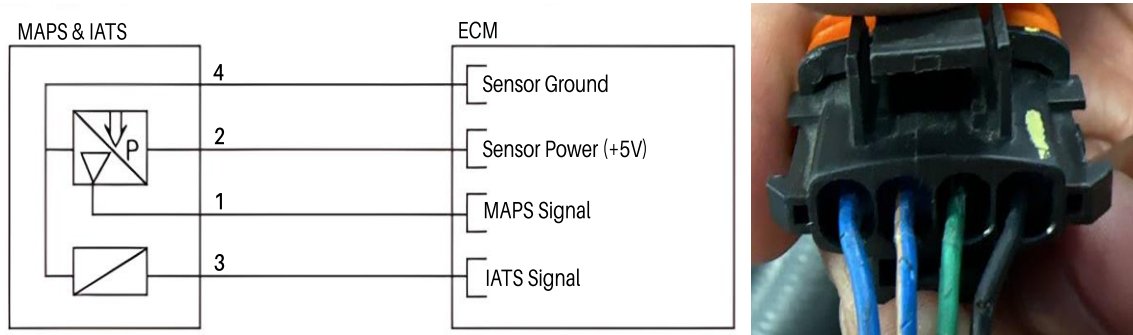
1.2.3. Sensor MAP

Para el motor GK4J se cuenta con un sensor de presión de aire del múltiple de admisión del tipo diafragma de silicio el cual consta de un elemento piezoeléctrico (silicio) y un circuito integrado que amplifica la señal de salida del elemento, esto es posible gracias a que el diafragma de silicio modifica el valor de resistencia variable sensible a la presión del semiconductor, por esta razón el sensor detecta la presión absoluta presente en el múltiple y transfiere una señal analógica haciendo uso de la variación antes mencionada la cual es proporcional al cambio de presión. La señal analógica oscila entre rangos de tensión establecidos y este valor de tensión es enviado hacia la unidad de control electrónico del motor para calcular la cantidad de aire de admisión y el régimen de giro del motor.

Comúnmente el sensor MAP y el sensor IAT se encuentran juntos formando un mismo componente por esta razón su conector dispone de cuatro terminales como se muestra en la Figura 1.4 donde se puede observar que el terminal (4) lo comparten tanto el sensor MAP como el sensor IAT, pues este terminal de masa se encuentra conectado con la ECM mediante un cable de color negro y conduce un valor de voltaje que varía entre -0.3 a 0.5 V, el terminal (2) energiza únicamente al sensor MAP conectándose a la ECM mediante un cable de color azul con una franja anaranjada que conduce un valor de voltaje de 5 V y por último, el terminal (1) también le corresponde al sensor MAP y este se comunica con la unidad de control electrónica del motor a través de un cable de color azul que envía un valor de tensión que oscila entre 0.8 a 1.6 V siendo 1.37 V el voltaje ideal para el

funcionamiento del motor, por esta razón, será la línea del terminal (1) la que se interrumpirá para producir el fallo.

Figura 1.4: Diagrama y conector de sensor MAP



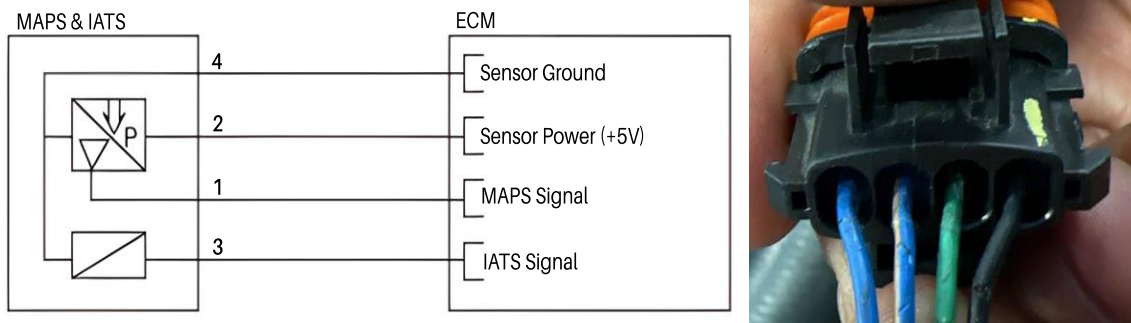
Circuito de conexión de MAP y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

1.2.4. Sensor IAT

Este sensor como se mencionó anterior mente se incorpora junto al sensor MAP puesto que para lograr calcular la cantidad de aire con precisión resulta necesario corregir la temperatura de este, pues la densidad del aire varía en función a la temperatura siendo así que la unidad de control electrónica del motor no utiliza únicamente la información del sensor MAP, sino que emplea también la del sensor IAT como un complemento. El motor usado en el proyecto incorpora un sensor IAT de coeficiente de temperatura negativo (NTC) el cual incrementa el valor de resistencia de forma inversamente proporcional a la temperatura.

Como se muestra en la Figura 1.5 el terminal (4) de conexión lo comparten tanto el sensor IAT como el sensor MAP, pues este terminal provee de una conexión a masa y se encuentra conectado con la ECM mediante un cable de color negro que conduce un valor de voltaje que varía entre -0.3 a 0.5 V, por último el terminal (3) corresponde únicamente al sensor IAT y se comunica con la ECM a través de un cable verde por el cual se envía un valor de tensión que oscila entre 0 y 5.0 V siendo 2.55 V la tensión ideal que representa la temperatura de aire más adecuada para el funcionamiento del motor, es así que la línea en la cual se producirá el fallo corresponde a la del terminal (3).

Figura 1.5: Diagrama y conector de sensor IAT



Circuito de conexión de MAP y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

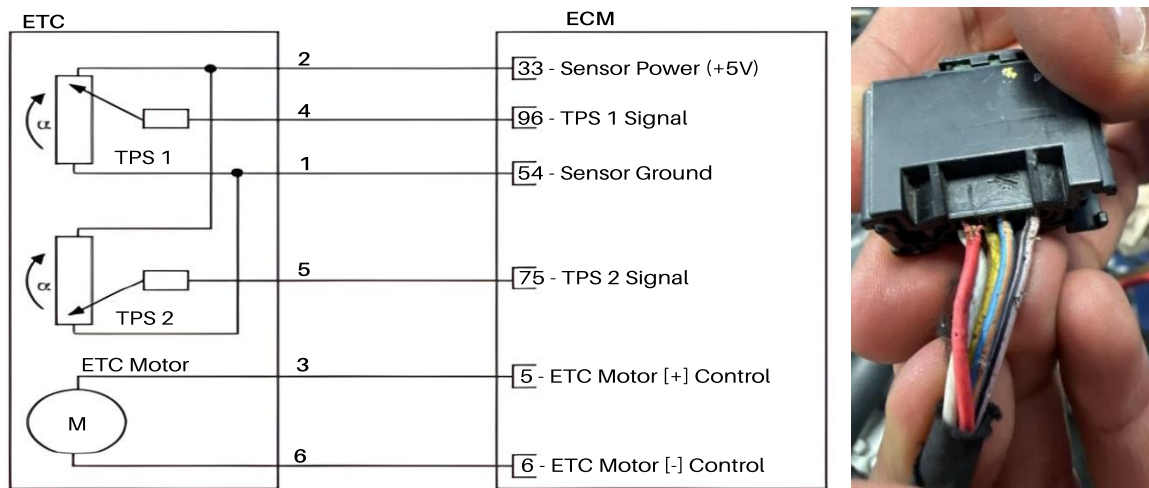
1.2.5. Sensor TPS

El motor que será utilizado trae incorporado un sensor encargado de informar a la ECM la posición que se encuentra la mariposa de aceleración medida en ángulo lo cual se transforma en una señal eléctrica enviando dicha información a la ECM de manera resistiva. La ubicación es adyacente al eje de la mariposa de aceleración, cuya función es administrar el flujo de aire que, a base del ángulo de apertura, como a la carga motor entre otras características propias de la situación. Para el accionamiento de la mariposa depende de un servo motor el cual incorpora un sistema reductor de engranajes de distes rectos, el suministro de corriente es controlado por la ECM, cabe recalcar que la información se lo hace de manera conjunta con la posición del acelerador cuyo elemento es electrónico.

Como se puede observar en la Figura 1.6 el terminal (2) se encuentra designado como una alimentación que proviene de la ECM, con un cable de color amarillo, el cual maneja una tensión máxima de 0.5 V con el motor apagado, mientras que con el motor en contacto se tiene una tensión que oscila entre los 4.75 y 5.25 V. Describir el terminal (1) que se habla de una masa, cuya procedencia es desde la ECM, con un cable de color blanco/naranja, manejando una tensión nominal de entre -0.3 y 0.5 V. Hablar de las dos señales con las que cuenta el sensor y se encuentran en los terminales descritos a continuación: el terminal (4) cuya función recae en indicar a la ECM la posición de la mariposa de aceleración cuyas medidas referenciales cuando la mariposa se encuentra totalmente cerrada maneja una tensión que oscila entre los 0.3 y 0.9 V, que por otro lado cuando la mariposa de aceleración se encuentra totalmente abierta su tensión nominal se encuentra entre 1.5 y 3.0 V, y se

encuentra con un cable de color rosa/negro. Por otra parte, en el terminal (5) el cual lleva la asignación de la segunda señal del sensor con valores dependientes de la posición de la mariposa de aceleración cuando se encuentra totalmente cerrada la tensión se encuentran entre 4.2 y 5.0 V, mientras que con la mariposa total mente abierta una tensión de 3.3 y 3.8 V, el cable es de color azul/rojo, cuya señal es trasportada a la ECM de manera analógica y tratada en su interior. Por otro lado, tenemos dos terminales que pertenecen al servo motor del accionamiento de la mariposa de aceleración los terminales son: el terminal (3) correspondiente a la alimentación positiva del motor eléctrico, proviene de la tensión de batería y como mínimo podemos tener 1.0 V, designado con un cable de color blanco. Mientras que con un cable de color rojo del terminal (6), que proviene de la alimentación negativa de batería, valor mínimo 1.0 V. Después de la identificación de los cables se realiza la interrupción para el fallo en el terminal (4).

Figura 1.6: Diagrama y conector de sensor TPS



Circuito de conexión del TPS y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

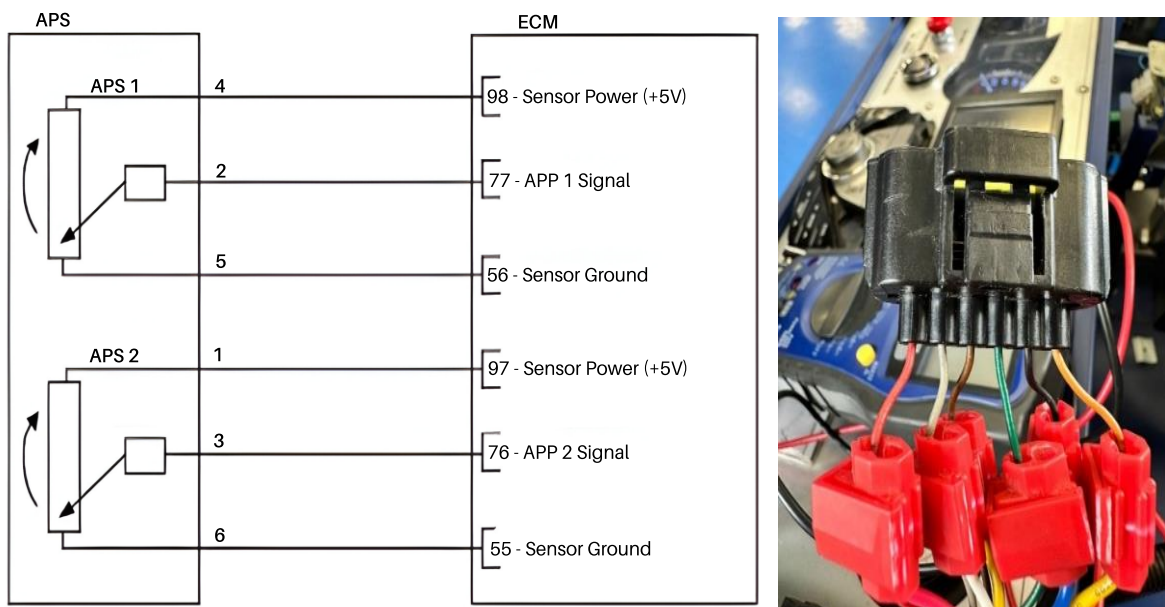
1.2.6. Sensor APP

En el motor utilizado para el desarrollo del proyecto tenemos un sensor de tipo resistivo el cual cuenta con dos resistencias, se encuentra adyacente al módulo del pedal del acelerador el cual variaría su posición dependiendo de la presión que ejercerá el conductor, es el encargado de enviar el ángulo de rotación del pedal. Cuenta con dos sensores de control de motor, la primera parte del sensor es encargado de la alimentación individual y la línea de

tierra. En segundo sensor de monitorea al primer sensor de igual forma que su tensión de salida el cual tiene un rango de salida de la mitad de la primera, si el diagnostico relacional entre el sensor (1) y (2) se encuentran fuera de rango se producirá un error de funcionamiento.

Como se observa en la Figura 1.7 el sensor está integrado de (6) terminales, para lo cual el sensor internamente se encuentra dividido en dos sensores, se describe cada uno de los terminales que dicho sensor contiene a continuación: el terminal (4) con un cable de color verde el encargado de suministrar la energía de 5 V que proviene de la ECM, de este mismo modo con un valor de suministro del mismo voltaje se tiene el terminal (1) con el color de cable rojo. Los terminales (5) y (6) perteneciente a masa y se encuentran conectados a la ECM con un cable de color negro el terminal (5), mientras el color naranja le pertenece al terminal (6), dichos terminales manejan una tensión de -0.3 y 0.5 V. El terminal (2) el cual envía una señal con una tensión mínima de 4v por un cable de color blanco recibiendo la ECM. Por último, se hablar del terminal (3) cuya tensión nominal de señal que envía se encuentra entre los 1.5 y 3 V con un cable de color marrón. Para lo cual se realizada una interrupción para la generación de fallo en el terminal (3).

Figura 1.7: Diagrama y conector de sensor APP



Circuito de conexión de APP y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

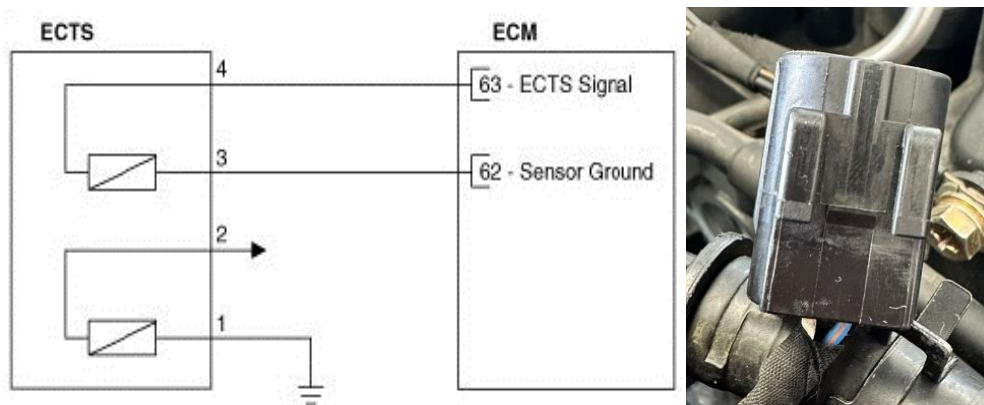
1.2.7. Sensor ECT

Sensor que se encuentra ubicado de manera estratégica, en nuestro motor y en muchos más modelos está en un costado de la culata del motor por cuyo conducto pasa el refrigerante del motor y el sensor mide la temperatura del refrigerante del motor. Funciona como un termistor el cual a medida que la temperatura se eleva su resistencia cambia. La resistencia eléctrica del termistor ECT disminuye en cuanto se eleva la temperatura del refrigerante, mientras que cuando la temperatura disminuye la resistencia se comporta de manera opuesta elevado su resistencia eléctrica.

El sensor cuenta con una resistencia interna en la ECM la cual suministra un voltaje referencial de 5 V, teniendo una conexión en serie entre el termistor y la ECM. El voltaje de salida se ve influenciado por la resistencia que genera el termistor conllevando a un cambio de voltaje. El motor para ponerse en marcha en un arranque en frío el sensor ECT, siendo crucial en esa etapa haciendo que se aumente los parámetros de inyección de gasolina, sincronizando el encendido invitando el calado del motor para un mejor rendimiento, mientras que en temperaturas de trabajo mantiene informado a la ECM de la temperatura del refrigerante evitando sobrecalentamientos.

Para describir los terminales del sensor ECT nos ayudaremos con la Figura 1.8 que a continuación detallaremos los terminales: Inicialmente tenemos el terminal (3) con el color de cable azul/anaranjado el cual se corresponde con la masa proveniente de la ECM con un valor referencial de entre -0.3 y 0.5 V. Por consiguiente, se tiene que aclarar que dos terminales no cuentan con cable físico pero el terminal (1) es la masa en la carrocería de la maqueta con un valor de 0 V, mientras por otro lado el terminal (2) no se encuentra utilizado. Al llegar al terminal (4) con un color de cable blanco el cual corresponde a la señal del sensor que se enviara a la ECM posterior de ser tratada a condición de la temperatura del motor cuyo valor de voltaje oscila entre los 0.5 y 4.5 V. La generación de fallo se realizará en el terminal (4).

Figura 1.8: Diagrama y conector de sensor ECT



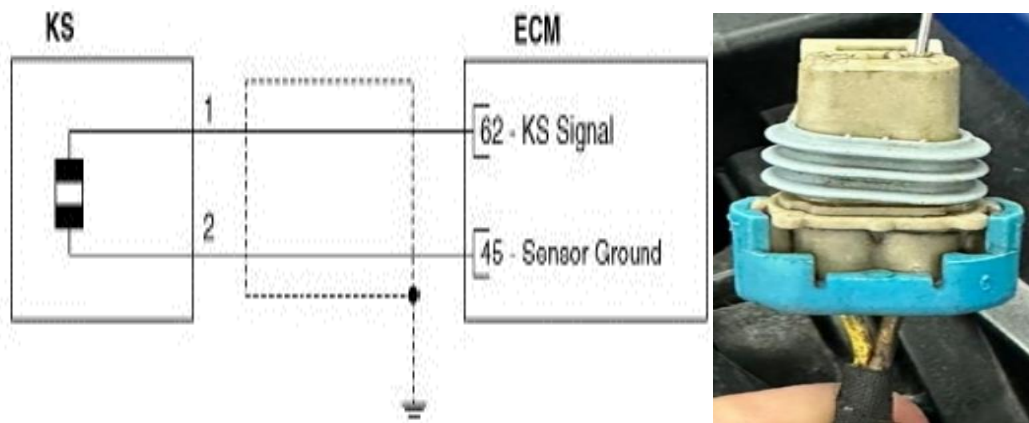
Circuito de conexión de ECT y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

1.2.8. Sensor KS

En el motor GK4J y en la mayoría de los motores de todas las marcas es importante el monitoreo del golpeteo por que dicho efecto desata el fenómeno que se ve caracterizado por las vibraciones, así como son los ruidos no deseados. La ubicación estratégica del sensor se caracteriza por estar sujeto fijamente en el bloque motor, siendo un sensor de tipo piezoeléctrico, pero lo cual dicho elemento crea una tensión que informa del golpeteo existente en el motor a la ECM, como acción importante retrasan el encendido una vez se supera la vibración se adelanta el encendido como consecuencia de dicha acción secuencial que afecta al motor, se puede desarrollar un consumo menor una aumento en el par motor como también una potencia adicional al motor.

El sensor cuenta con dos terminales los cuales se detallan a continuación mediante la Figura 1.9: el terminal (1) encargado de enviar la señal por el cable de color marrón hacia la ECM, con un voltaje oscilante entre -0.3 y 0.3 V, con una frecuencia variable. Mientras el terminal (2) con un cable de color amarillo el cual da un valor de tensión entre -0.3 y 0.5 V proveniente desde la ECM. Identificado los cables se realizada la interrupción en el terminal (1) dejando abierto el circuito para generar el fallo.

Figura 1.9: Diagrama y conector de sensor KS



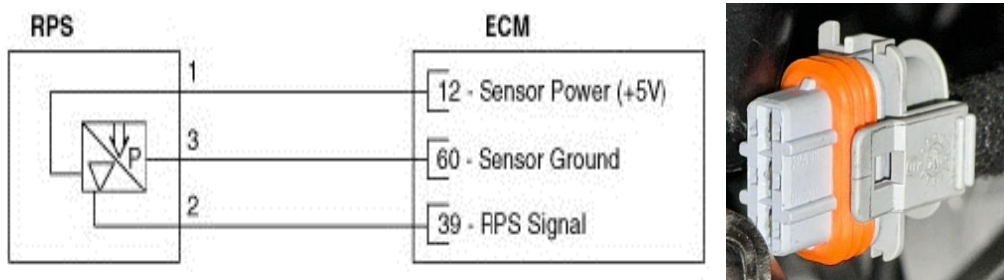
Circuito de conexión de KS y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

1.2.9. Sensor de presión del Riel

Encargado de medir la presión instantánea en el tubo de alimentación de combustible, elemento de tipo semiconductor, creando una señal de presión en una tensión la cual mantiene informado a la ECM, de modo que se realice ajustes en el regulador de presión así como en la inyección de combustible, realizado un cálculo entre la presión objetivo y la presión real calculado por la señal de salida de sensor serán diferentes, el gran objetivo de dicho sensor es mantener la uniformidad de presión siendo ideal la presión que se envíe desde la bomba de alta presión, siendo capaz de atomizarse en la cámara de combustión.

En la Figura 1.10 se puede determinar el número de terminales que a continuación se detallarán: el cable de color blanco del terminal (1), función es energizar al sensor con una tensión que se encuentra entre los 4.75 y 5.25 V esto el motor en contacto, mientras que el motor apagado dará una tensión máxima de 0.5 V. El terminal (2) con un cable de color marrón, función que realiza es la de enviar la señal analógica de presión que dentro de la ECM se convertirá en voltaje, su rango de tensión puede establecerse entre los 0.3 y 5.2 V. Como ultimo terminal se encuentra el (3) el cual tiene un color de cable negro, sus valores de tensión se encuentran entre -0.3 y 0.5 V, que se corresponde a masa. Para realizar la interrupción y conectar en el simulador de fallo se interrumpe el terminal (2).

Figura 1.10: Diagrama y conector de sensor RPS



Circuito de conexión de RPS y ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

1.2.10. Sensor O₂

El motor GK4J se encuentra provisto de dos sensores de oxígeno uno ubicado antes del convertidor catalítico denominado como pre-catalítico y otro ubicado luego del catalizador al cuál se lo denomina como sensor post-catalítico, se debe considerar que si bien ambos sensores cumplen el rol de cuantificar la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape estos no son del mismo tipo ya que para el sensor de oxígeno pre-catalítico se cuenta con un sensor de banda ancha el cual no informa únicamente a la unidad de control electrónico del motor ECM si la mezcla es rica o pobre, este sensor le informa a la ECM que tan rica o que tan pobre está siendo la mezcla de combustión, dicha información permite que el módulo de control pueda dosificar con mayor precisión la mezcla de aire combustible. Generalmente los sensores de banda ancha cuentan con 5 o 6 líneas de conexión en el arnés, en este caso el sensor que lleva el motor del proyecto cuenta con 6 terminales de conexión lo que indica que este se encuentra provisto de una resistencia de calibración.

Por otro lado, el sensor post-catalítico es del tipo oxido de circonio el cual está compuesto por circonio y alúmina, este tipo de sensores pueden contar con un numero de terminales que van desde uno hasta cuatro siendo este último el número de pines de conexión con los que cuenta el sensor correspondiente al motor empleado en el proyecto. Resulta importante mencionar que tanto el sensor pre-catalítico como el post-catalítico incorporan un calentador que es comandando por la unidad de control electrónico mediante una señal de trabajo, pues el sensor necesita estar caliente para funcionar con normalidad así cuando los gases de escape poseen una temperatura inferior al parámetro establecido por el fabricante, este calentador eleva la temperatura de la punta de los sensores. Como se puede observar en la

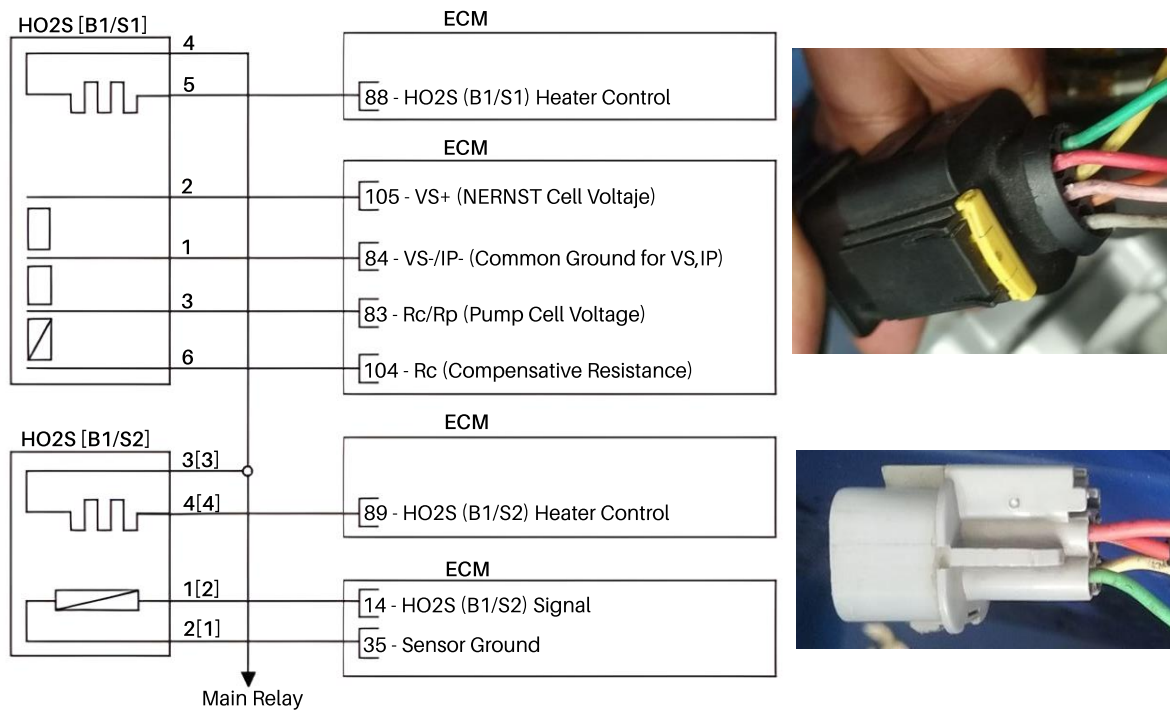
Figura 1.11 al sensor pre-catalítico denominado en el diagrama de conexión como HO2S [B1/S1] le corresponden los terminales de conexión (1, 2, 3, 4, 5 y 6), mientras que al sensor post-catalítico HO2S [B1/S2] le corresponden los terminales (1[2], 2[1], 3[3] y 4[4]) respectivamente.

La Figura 1.11 indica para el sensor pre-catalítico HO2S [B1/S1] el primer terminal 1 se encuentra conectado a la ECM por medio de un cable plomo el cual conduce un valor de tensión referencial en milivoltios que es común para célula de Nernst como para la célula de bombeo, pues, el sensor envía una señal analógica hacia a la ECM por medio de este terminal, el terminal 2 es el encargado de alimentar de corriente a la célula de Nernst y se vincula a la ECM a través de un cable de color rosado, el terminal 3 permite un intercambio de tensión entre la célula de bombeo y el módulo de control electrónico del motor mediante un cable de color rojo siendo esta la línea de señal del sensor, el terminal 4 alimenta de corriente al calentador ya que conecta al relé principal por medio de un cable de color anaranjado que cuenta con un valor de voltaje de batería el cual es mayor a 12V cuando el motor esta encendido, el terminal 5 se comunica con la ECM por un cable de color amarillo el cual envía una señal de pulsos de control cuya tensión en alto es igual a la del voltaje de batería 12 V y en bajo varía entre -0.3 a 1 V con una frecuencia entre 8 a 10Hz ya que esta señal es la encargada de controlar el trabajo del calentador, finalmente el terminal 6 se conecta a la ECM mediante un cable verde, por medio de este terminal la ECM se comunica con una resistencia la cual forma un puente con la línea de conexión de la célula de bombeo corrigiendo en una cantidad menor a ± 0.1 V los valores de tensión enviados por esta célula (AutoZone, 2013). Es así como en este sensor la interrupción en la línea para producir el fallo se realizará sobre el terminal 3 debido a que esta línea es común para la célula de bombeo y la célula Nernst ya que conduce un valor de comparación empleado por la ECM.

Para el sensor post-catalítico HO2S [B1/S2] como se presenta en la Figura 1.11 el terminal de conexión 1[2] se comunica con la unidad de control electrónico del motor mediante un cable color blanco por el cual el sensor envía la señal a la ECM, el terminal 2[1] se conecta a la ECM a través de un cable verde el cual conduce una tensión que oscila entre -0.3 a 0.5V considerada como la conexión a masa del sensor, el terminal 3[3] alimenta de corriente al calentador y se conecta al relé principal por medio de un cable de color rojo que cuenta con un valor de voltaje de batería el cual es mayor a 12V cuando el motor está en funcionamiento,

por último el terminal 4[4] se comunica con la ECM por un cable de color rosado el cual envía una señal de pulsos de control cuya tensión en alto es igual a la del voltaje de batería 12 V y en bajo oscila entre -0.3 a 1V con una frecuencia entre 8 a 10Hz ya que esta señal es la encargada de controlar la activación del calentador

Figura 1.11: Diagrama y conector de sensores de oxígeno (O₂)



Circuito de conexión entre sensor O₂ pre-catalítico con la ECM y sensor O₂ post-catalítico con la ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013) y Autores

1.3. Implementación del banco de fallos en los actuadores del sistema GDI

Conocer el funcionamiento de cada uno de los actuadores que conforman el sistema de control electrónico del motor resulta indispensable para lograr provocar la condición de fallo, debido a ello en este apartado se detallaran los valores de voltaje que se espera obtener en cada terminal de conexión de los distintos actuadores y como se interpretan estos valores de tensión emitidos por la ECM para comandar su funcionamiento, con ello será posible identificar y tomar una decisión fundamentada al seleccionar cual línea de comunicación del actuador cortar mediante un interruptor para producir su fallo.

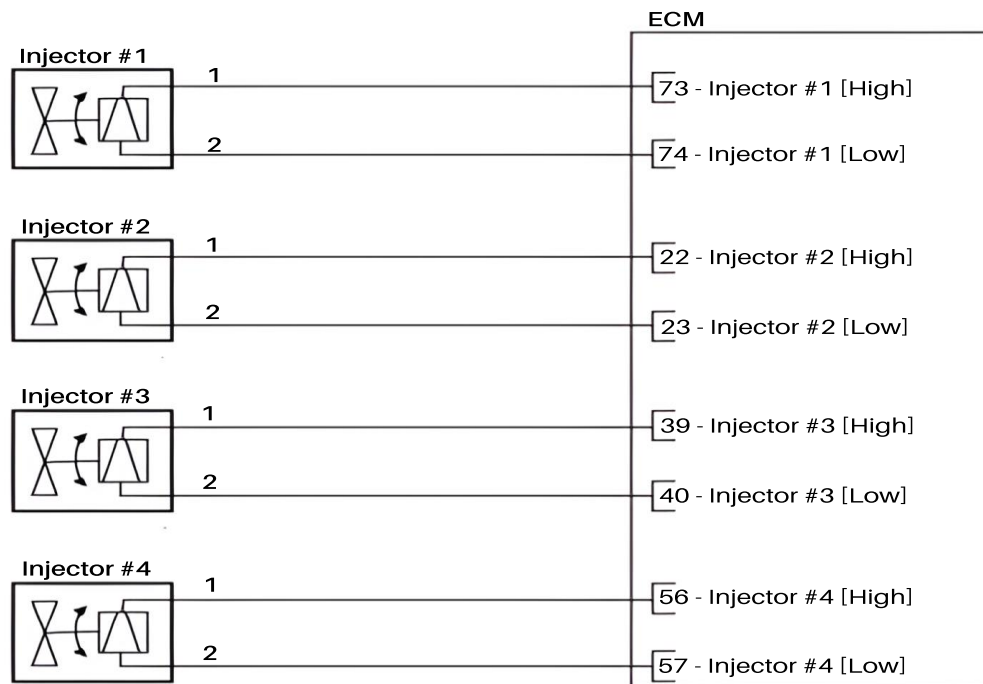
1.3.1. Inyectores

Como se trata de un sistema GDI los inyectores maneja presiones de inyección elevadas, para el caso del motor GK4J estas presiones oscilan entre 571 PSI a 637 RPM hasta 1965 PSI a 4978 RPM, con ello la atomización del combustible se mejora permitiendo que su mezcla con el aire al interior del cilindro sea buena, esto último también se ve ayudado gracias a la cantidad de chorros de inyección, dicho parámetro lo determina el número de orificios del inyector el cual para este tipo de inyectores es igual a 6. Este inyector es una válvula solenoide que es activada conectando a masa el circuito o línea de control, esta acción lo realiza el módulo de control electrónico del motor, así, cuando la ECM conecta a masa la línea de control el inyector se energiza generando que en ese momento la tensión del circuito sea teóricamente 0V y se inyecta el combustible, por otro lado, cuando la ECM abre el circuito de control desenergiza al inyector provocando que se cierre, en este instante el circuito alcanza momentáneamente un pico de tensión y posteriormente se estabiliza en un valor de voltaje de batería generalmente superior a 12V cuando el motor esta encendido.

Como se puede observar en la Figura 1.12 los inyectores cuentan con dos terminales de conexión, el primer terminal se conecta a la ECM para emitir el control del inyector en la línea de más alta tensión, en esta línea el tiempo de apertura del inyector es controlado mediante un señal PWM, a pesar de que el primer terminal cumple la misma función en cada uno de los cuatro inyectores cada uno de ellos se conectan de manera individual al módulo de control electrónico, siendo así que el inyector uno lo hace mediante un cable amarillo, el inyector dos lo hace por un cable azul, el inyector tres por medio de un cable blanco y el cuarto inyector por un cable verde, en esta línea se conduce una tensión igual a la del voltaje de batería (mayor a 12V) y al momento de desenergizar el inyector se alcanza un pico de voltaje igual a 70V; el segundo terminal se conecta a la ECM para controlar al inyector mediante la línea baja de tensión por conexión a masa, en esta línea se conduce una tensión de 0 V cuando el inyector esta energizado y al momento de desenergizar se alcanza un pico de tensión máximo de 70V posteriormente la tensión baja a un valor entre 0 y 5V hasta estabilizarse nuevamente en 0V, esta línea cumple la misma función en cada uno de los diferentes inyectores, sin embargo el segundo terminal de cada inyector se conecta de manera individual con la ECM mediante un cable de color azul con una franja anaranjada, dicho color es el mismo en todos los terminales número dos de los cuatro

inyectores. Debido a que la ECM realiza la activación del inyector mediante la conexión a masa, es decir, con el circuito de más baja tensión, será el segundo terminal de cada inyector la línea que se interrumpirá para generar la condición de fallo en cada uno de los inyectores.

Figura 1.12: Diagrama de los inyectores



Circuito de conexión de los inyectores con la ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013)

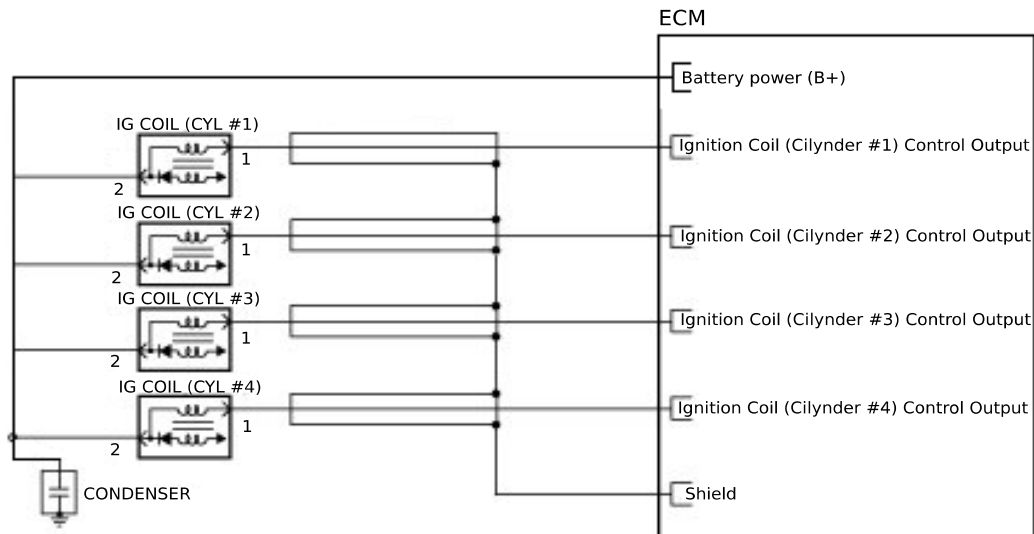
1.3.2. Bobinas

Para el motor G4KJ se cuenta con un sistema de encendido del tipo COP por sus siglas en inglés Coil on Plug o entendido en español como bobina sobre bujía, esto indica que se dispone de cuatro bobinas individuales en el sistema de encendido para cada uno de los cilindros, en este motor las bobinas son del tipo lápiz de dos pines o terminales de conexión lo que indica que no es una bobina transistorizada y que su control por parte de la ECM no se realiza por medio de una señal PWM. Al ser un actuador la activación de las bobinas depende de la sincronización del encendido electrónico que hace uso de los sensores (velocidad, carga, régimen de giro y golpeteo) para que en función de las señales de estos y contrastando la información obtenida con los parámetros estándar para el encendido que han sido previamente programados en la memoria de la ECM por parte del fabricante, el módulo

de control toma la decisión de interrumpir el suministro de corriente en el embobinado primario activando la bobina de encendido y controlando la sincronización.

En la Figura 1.13 se muestra la conexión de cada una de las bobinas pertenecientes al sistema de encendido, el terminal número 2 es común para cada una de las diferentes bobinas ya que las conecta con la ECM mediante un cable de color anaranjado el cual conduce un valor de tensión igual al voltaje de batería que generalmente es superior a 12 V cuando el motor está encendido, esta línea se encarga de alimentar de corriente positiva tanto al circuito primario como al secundario de cada bobina; en cuanto al terminal 1 cumple la función de controlar la activación de la bobina por parte de la ECM interrumpiendo el suministro de corriente en el embobinado primario, a pesar de que los terminales 1 de cada bobina cumplen una misma función se encuentran conectados al módulo de control electrónico del motor de manera individual, por esta razón la bobina del primer cilindro se comunica con la ECM mediante un cable amarillo, la bobina del segundo cilindro por un cable blanco, la bobina del tercer cilindro por un cable verde y finalmente la bobina del cuarto cilindro a través de un cable color azul, cada una de estas líneas controla la activación de las bobinas mediante un pulso que alcanza un pico de voltaje que oscila entre 360 y 440V con una frecuencia que va de 125 a 1000Hz siendo 333Hz la frecuencia ideal de funcionamiento. Por lo explicado anteriormente se decidió interrumpir el terminal 1 de cada bobina, pues, esta línea lleva la señal de activación y al ser suspendida permite la generación del fallo.

Figura 1.13: Diagrama de las bobinas de encendido



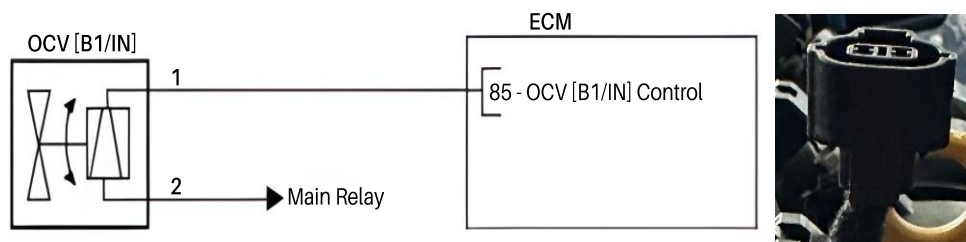
Conexión de las bobinas de encendido con la ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013)

1.3.3. Válvulas de control de aceite OCV

Mecanismo que utiliza el principio de una bomba de paletas usando la fuerza hidráulica, el control hidráulico proviene de la OCV suministrando o cortando el aceite en el árbol de levas, el control se da por medio de señales PWM (pulso con modulación) que son enviados desde la ECM. La temperatura del aceite es información con la que también se debe proporcionar a la ECM y es enviada por el sensor OTS. Ya para el trabajo hidráulico se cuenta con el CAM PHASEER que utiliza la fuerza hidráulica para variar la fase de las levas. La función del aceite que sale del control de la válvula ayuda en dos direcciones las cuales son: (avance a la admisión / retraso al escape) o en la dirección opuesta (retraso a la admisión / adelanto al escape). En el motor G4KJ se cuenta con el sistema de sincronización variable continua de válvulas en el eje de admisión como en el eje de escape, finalidad de solapamiento o un solapamiento insuficiente, disminuyendo el consumo de combustible, así como las emisiones contaminantes. Las señales necesarias para el cálculo del solapamiento se deben a la velocidad del motor y carga. Las mejoras que incorporan los vehículos que cuentan con dicho sistema son: la reducción por pérdidas de bombeo, una combustión más estable, un aumento volumétrico en la fase de admisión y el aumento de trabajo en expansión, menor contaminación.

En la Figura 1.14 se muestra como primer terminal (1) se conecta a la ECM, el cual tiene un cable de color verde, encargado de transportar las señales PWM, controlado el caudal de aceite de motor para generar la fuerza hidráulica, en contacto se podrá medir una tensión de voltaje de batería, por otro lado, cuando se encuentren en funcionamiento la tensión de este terminal se encontrará variando en -0.3 y como máximo se tendrá 1 V. El terminal dos (2) se conecta al relé principal mediante un cable de color verde/anaranjado y posee una tensión de 12 V, utilizada para energizar de manera positiva al actuador.

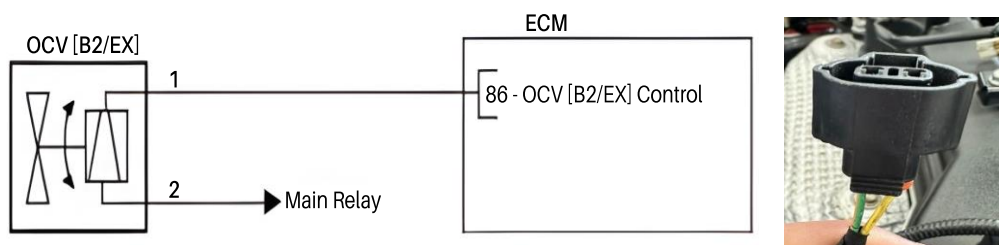
Figura 1.14: Diagrama y Conector de OCV de admisión



Circuito de la válvula OCV de admisión con la ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

Para hablar de la OCV de escape que se muestra en la Figura 1.15 el primer terminal (1) se conecta a la ECM, el cual tiene un cable de color amarillo, encargado de transportar las señales PWM, controlado el caudal de aceite de motor para generar la fuerza hidráulica, en contacto se podrá medir una tensión de voltaje de batería, por otro lado, cuando se encuentren en funcionamiento la tensión de este terminal se encontrará oscilando entre -0.3 y 1 V. El terminal dos (2) se conecta al relé principal mediante un cable de color verde/anaranjado y posee una tensión de 12 V, utilizada para energizar de manera positiva al actuador.

Figura 1.15: Diagrama y Conector de OCV de escape



Circuito de la válvula OCV de escape con la ECM, **Fuente:** (AutoZone, 2013), Autores

CAPÍTULO 2

IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE MOTORES

2. Detalle de la instrumentación realizada al banco de motores

Posterior a la implementación del proyecto el banco de motores Yes01 3111 es importante detallar y explicar las particularidades y el modo de funcionamiento de los elementos y sistemas que se han añadido al sistema de control electrónico del motor, para facilitar su utilización, garantizar un manejo adecuado, realizar mantenimientos posteriores y en caso de ser necesario contar con información que permita diagnosticar futuros fallos que pudieran suscitarse. Así también estos bancos al ser empleados para uso pedagógico y de formación técnica requieren de diagramas de conexión de los sistemas y elementos añadidos en la instrumentación, los cuales permitan su fácil interpretación para comprender la función que desempeñan en el banco motor.

2.1. Código de colores del arnés de cableado

Para poder comprender los diagramas es necesario establecer la codificación de colores del cableado que se representara en los esquemas de conexión elaborados, en la Tabla 2.1 se describe el símbolo y el color que esta representa.

Tabla 2.1: Codificación de colores para arnés

Símbolo	Color del cable	Símbolo	Color del cable
B	Negro	O	Anaranjado
Br	Marrón	P	Rosa
G	Verde	R	Rojo
Gr	Gris	W	Blanco
L	Azul	Y	Amarillo

Color al cual hace referencia cada símbolo usado en los diagramas, **Fuente:** Autores

Adicionalmente es importante conocer que existen cables que combinan dos colores uno principal y otro dispuesto en forma de franja, para este tipo se tiene la combinación de símbolos de la siguiente manera: **W/G**, donde la letra de la izquierda representa el color dominante del cable y la letra de la derecha señala la coloración de la franja, para este símbolo que se ha tomado como ejemplo le corresponde un cable de color blanco con franja verde.

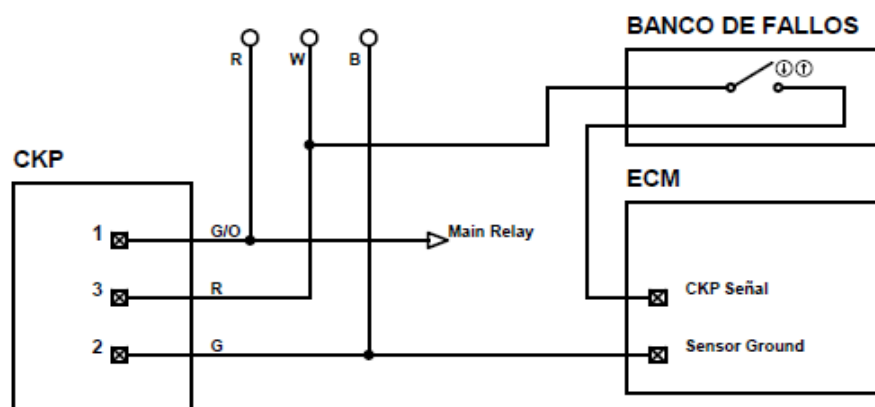
2.2. Instrumentación implementada en los sensores del sistema GDI

Con la implementación del banco de fallos en cascada el arnés de comunicación entre cada uno de los sensores y el módulo de control electrónico del motor fue modificado producto de las interrupciones producidas, debido a ello resulta inherente el diagrama eléctrico de cada sensor que muestre las modificantes realizadas, en este diagrama también se incluirá los demás elementos añadidos en la instrumentación, como lo son los cables unidos a las líneas de comunicación y alimentación de cada sensor que facilitan la medición de tensión de estos y la obtención de oscilogramas. Otros elementos que también se añadieron fueron voltímetros digitales los cuales se incorporaron para monitorear el cambio de tensión de determinados sensores durante el funcionamiento del motor.

2.2.1. Sensor CKP

Como muestra el diagrama de la Figura 2.1 al sensor CKP se le realizó la interrupción en el tercer terminal el cual posee un cable de color rojo, conduciendo en primer lugar el valor de tensión (señal) hacia el interruptor ubicado en el banco de fallos, para posteriormente conectarse al terminal de entrada correspondiente en la ECM. En cuanto a los cables implementados unidos a cada línea del sensor se los detalla en la Tabla 2.2.

Figura 2.1: Diagrama de instrumentación en Sensor CKP



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor CKP y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

En la Tabla 2.2 se indica para cada uno de los terminales de conexión del CKP, el color de los cables tanto del arnés de comunicación como de aquellos que van unidos a este, los cuales servirán para la fácil medición de tensiones y obtención de oscilogramas.

Tabla 2.2: Cables conectados a CKP

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	G/O	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
2	G	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
3	R	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados al sensor CKP, **Fuente:** Autores

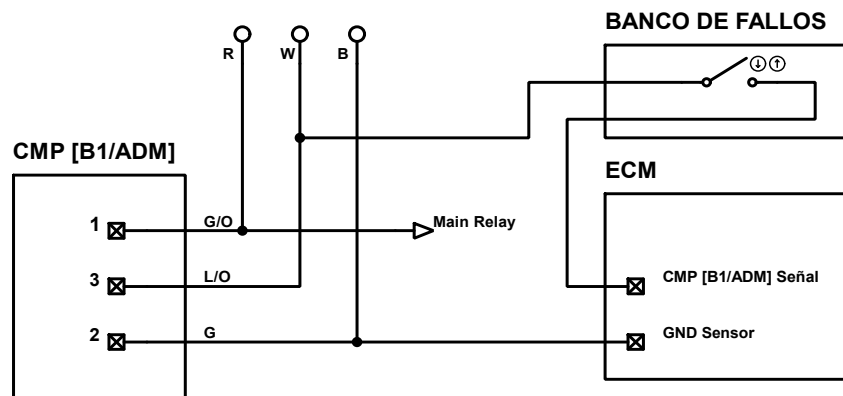
2.2.2. Sensores CMP

- CMP de admisión

El esquema representado en la Figura 2.2 indica que al sensor CMP de admisión se le realizó el corte de comunicación con la ECM en el tercer terminal mismo que presenta un cable azul con franja anaranjada. Este cable conduce inicialmente el valor de tensión (señal) hacia el

interruptor situado en el banco de fallos, para posteriormente conectarse al terminal de entrada correspondiente en la ECM. En relación con los cables asociados a cada línea del sensor, se ejecutaron las siguientes conexiones: para el primer terminal, que cuenta con un cable plomo con franja anaranjada, se unió a un cable de color rojo, representando la línea de alimentación del sensor. Los cables implementados unidos a cada línea del sensor se los detalla en la Tabla 2.3.

Figura 2.2: Diagrama de instrumentación en sensor CMP de admisión



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor CMP de admisión y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.3 muestra para cada uno de los terminales de conexión del CMP de admisión, el color de los cables tanto del arnés de comunicación como de aquellos que van unidos a este, mismos que servirán para la fácil medición de tensiones y obtención de oscilogramas.

Tabla 2.3: Cables conectados a CMP de admisión

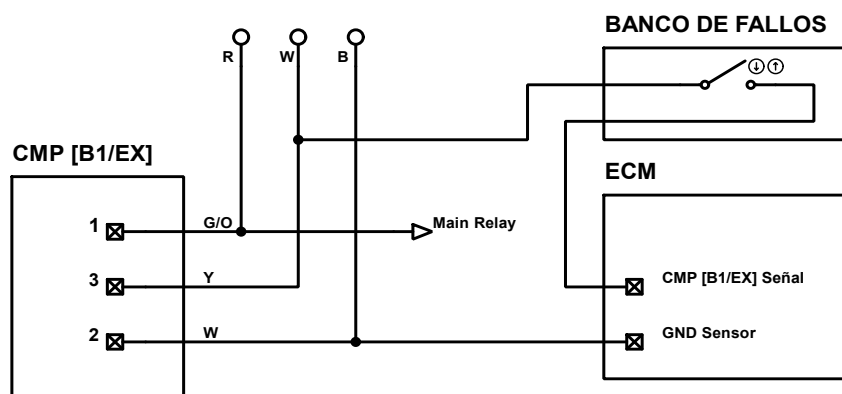
Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	G/O	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
2	G	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
3	L/O	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados al sensor CMP de admisión, **Fuente:** Autores

- **CMP de escape**

Según se evidencia en el esquema de la Figura 2.3, se llevó a cabo una interrupción en el tercer terminal del sensor CMP identificado por un cable de color amarillo, direccionando en primer lugar el valor de tensión (señal) hacia el interruptor ubicado en el banco de fallos, para posteriormente continuar desde el interruptor hasta el terminal de entrada correspondiente en la ECM. En cuanto a los cables que han sido unidos a cada línea del sensor se los detalla en la Tabla 2.4.

Figura 2.3: Diagrama de instrumentación en sensor CMP de escape



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor CMP de escape y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

En la Tabla 2.4 se indica para cada uno de los terminales de conexión del CMP de escape, el color de los cables tanto del arnés de comunicación como de aquellos que van unidos a este mismos que servirán para la fácil medición de tensiones y obtención de oscilogramas.

Tabla 2.4: Cables conectados a CMP de escape

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	G/O	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
2	W	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
3	Y	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado

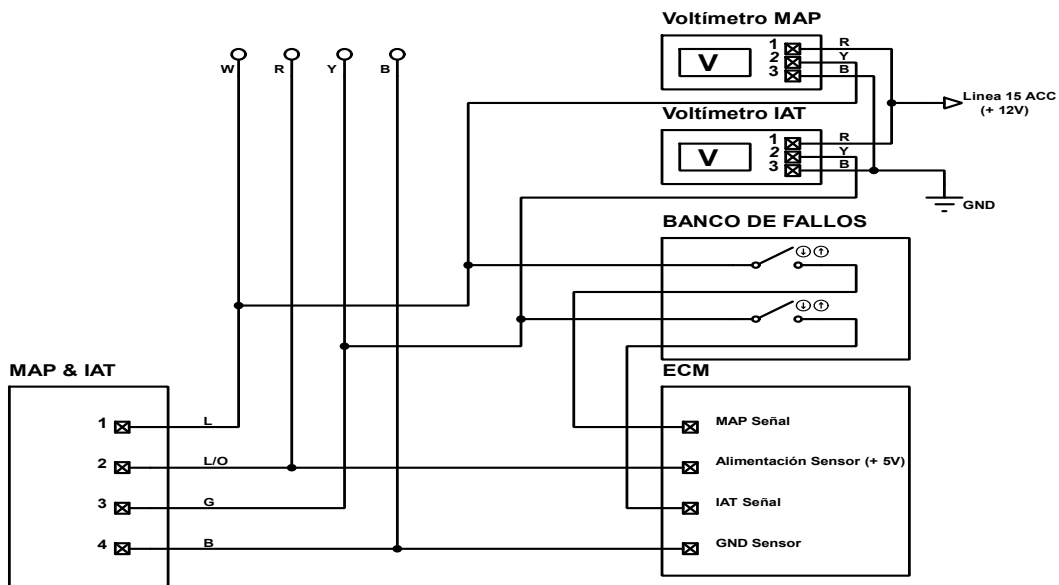
Detalle de los cables vinculados al sensor CMP de escape, **Fuente:** Autores

2.2.3. Sensores MAP e IAT

En el motor G4KJ los sensores MAP e IAT se encuentra unidos, compartiendo también el mismo terminal de conexión (socket), por esta razón siguiendo el ejemplo del manual del fabricante se realizó un diagrama único en el cual se incluye el esquema de conexión de ambos sensores, como se indica en la Figura 2.4.

En el diagrama se muestra que para producir el fallo en el sensor MAP se interrumpió la línea de comunicación del primer terminal identificado por un cable azul, direccionando el valor de tensión enviado por el sensor hacia el interruptor situado en el banco de fallos, para que posteriormente continúe hasta el terminal de entrada en la ECM; en el esquema también se representa la conexión de un voltímetro digital que permite medir la tensión del sensor MAP, la línea de medición de este voltímetro identificada por un cable amarillo se la conecto en paralelo con la línea que sale desde el sensor y llega hasta el interruptor en el banco de fallos, la conexión se realizó de esta manera en función de que, al abrir el circuito, el sensor continúa enviando valores de tensión, los cuales solo pueden ser medidos antes del punto donde se apertura el circuito

Figura 2.4: Diagrama de instrumentación en sensores MAP e IAT



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre los sensores MAP e IAT y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

Por otro lado, en la Figura 2.4 también se indica que para el sensor IAT se realizó la interrupción en el tercer terminal de cable verde, direccionando así la tensión de señal en primera instancia hacia el interruptor del banco de fallos para que posteriormente continúe hasta el terminal de entrada correspondiente en la ECM; la conexión del voltímetro digital para medir la tensión del IAT se efectuó conectando el cable amarillo del voltímetro en paralelo con la línea que sale del sensor y llega hasta el interruptor en el banco de fallos.

En la Tabla 2.5 se indica para cada una de las líneas de comunicación de los sensores MAP e IAT las siguientes características: color de los cables del arnés de comunicación, color de los cables del voltímetro digital y el color de cable de los terminales de fácil medición que han sido unidos al arnés de comunicación principal.

Tabla 2.5: Cables conectados a MAP e IAT

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	L	Señal emitida por el sensor MAP
	W	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro de MAP
2	L/O	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
3	G	Señal emitida por el sensor IAT
	Y	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro de IAT
4	B	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados a los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores

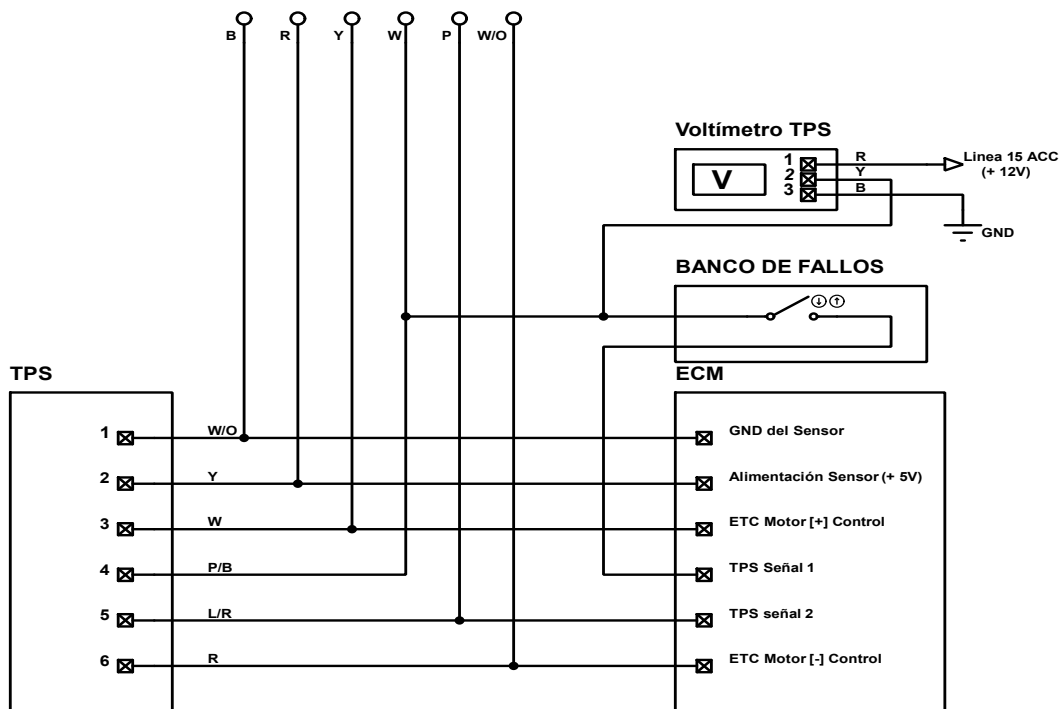
2.2.4. Sensor TPS

Dentro de la instrumentación del motor G4KJ se tienen un sensor TPS, a base del manual del fabricante se realiza un diagrama único, que se demuestra en la Figura 2.5.

El diagrama indica que para la producción del fallo en el sensor TPS se tiene que interrumpir la línea de comunicación del terminal cuatro identificado con un cable de color rosa / negro, derivado la tensión enviada por el sensor hacia el interruptor ubicado en el banco de fallos, para posterior continúe hasta el terminal de entrada de la ECM: en el esquema también se

representa la conexión de un voltímetro digital capaz de medir la tensión del sensor TPS, la línea de medición del voltímetro se identifica por un cable de color amarillo la conexión se da en paralelo con la línea que proviene del sensor llegando hasta el interruptor en el banco de fallos, la conexión tiene dicha configuración debido a que, al abrir el circuito, el sensor continua enviando valores de tensión, los cuales solo pueden ser medidos antes del punto donde se apertura el circuito.

Figura 2.5: Diagrama de instrumentación en sensor TPS



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor TPS y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.6 contiene información sobre las líneas de comunicación del sensor TPS con la siguiente información: colores de cables de arnés de comunicación, color de los cables del voltímetro digital y el color de cables de los terminales de fácil medición que han sido unidos al arnés de comunicación principal.

Tabla 2.6: Cables conectados al TPS

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	W/O	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
2	Y	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
3	W	ETC Motor [+] Control
	Y	Terminal de medición implementado
4	P/B	Señal (1) emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro
5	L/R	Señal (2) emitida por el sensor
	P	Terminal de medición implementado
6	R	ETC Motor [-] Control
	W/O	Terminal de medición implementado

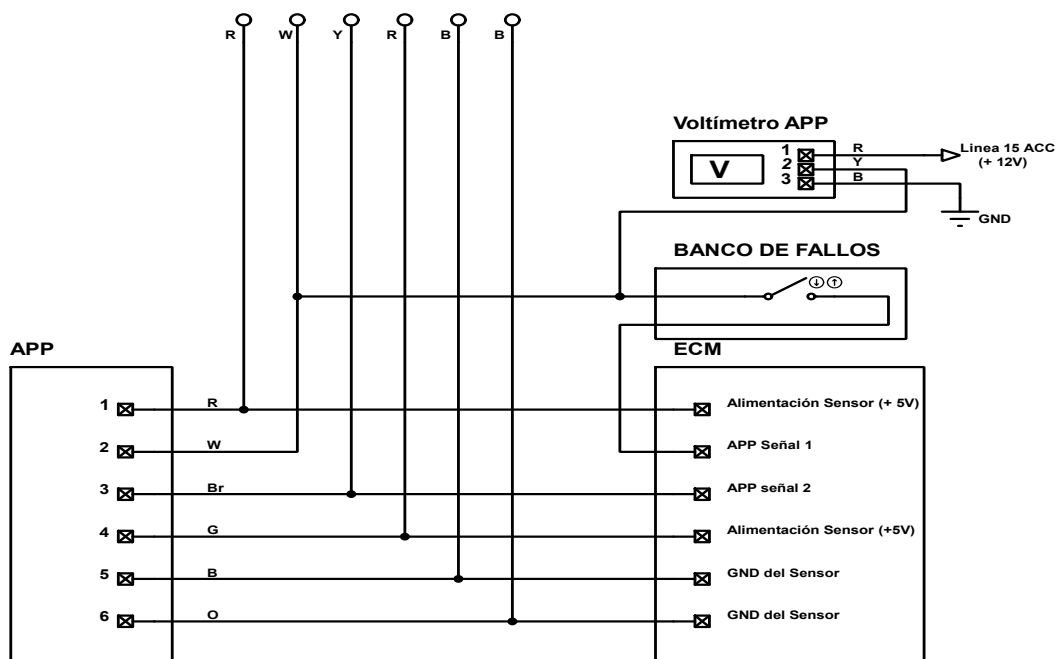
Detalle de los cables vinculados al sensor TPS, **Fuente:** Autores

2.2.5. Sensor APP

Dentro de la instrumentación del motor G4KJ se tienen un sensor APP, a base del manual del fabricante se realiza un diagrama único, que se demuestra en la Figura 2.6.

Para la descripción de la producción del fallo en el sensor APP se debe interrumpir la línea de comunicación del terminal dos el cual se encuentra identificado con un cable de color blanco, se debe direccionar la tensión al interruptor que se encuentran en el banco de fallos, para finalizar en el terminal de la entrada de la ECM: el esquema también representa la conexión de un voltímetro digital que es capaz de medir la tensión del sensor APP, para identificar la línea de medición del voltímetro se tiene un cable de color amarillo cuya conexión se realiza en paralelo con la línea proveniente de la salida del sensor llegando hasta le interruptor en el banco de fallos, la conexión se llevó a cabo de tal manera que, al dejar abierto el circuito, el sensor continúe enviando valores de tensión.

Figura 2.6: Diagrama de instrumentación en sensor APP



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor APP y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.7 manifiesta que para cada una de las líneas de comunicación del sensor APP las siguientes características: el color de los cables del arnés de comunicación, color de los cables de voltímetro digital y el color de cable de los terminales de fácil medición de han sido unidos al arnés de comunicación principal.

Tabla 2.7: Cables conectados al APP

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	R	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
2	W	Señal (1) emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro
3	Br	Señal (2) emitida por el sensor
	Y	Terminal de medición implementado
4	G	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado

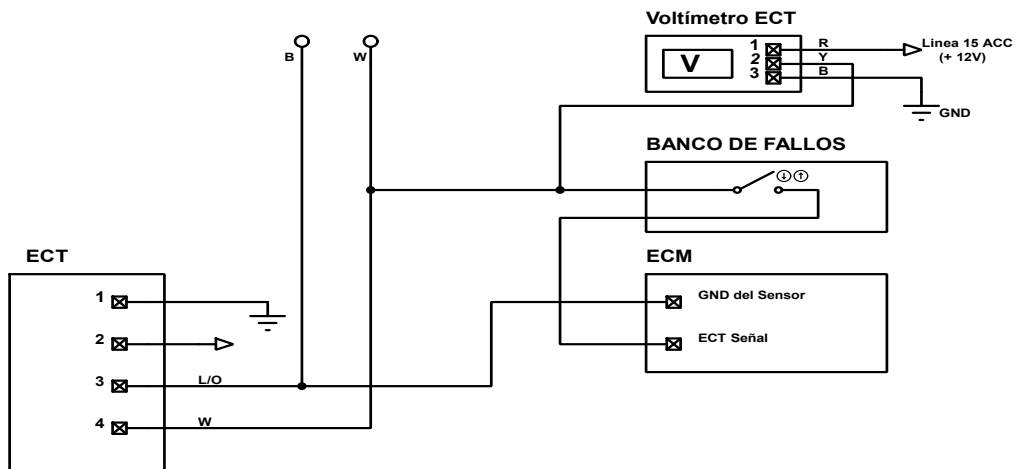
5	B	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
6	O	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados al sensor APP, **Fuente:** Autores

2.2.6. Sensor ECT

Según se evidencia en el esquema de la Figura 2.7, se realiza la interrupción en el cuarto terminal del sensor ECT que se identifica con un cable de color blanco, de primera instancia se direcciona la tensión (señal) hacia el interruptor que se ubica en el banco de fallos, para posterior continuar desde el interruptor hacia el terminal de entrada correspondiente a la ECM: la conexión del voltímetro digital para medir la tensión del ECT se efectúa una conexión en paralelo con un cable amarillo del voltímetro con la línea que sale del sensor llegando hasta el interruptor en el banco de fallos.

Figura 2.7: Diagrama de instrumentación en sensor ECT



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor ECT y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.8 contiene la información sobre las líneas de comunicación del sensor ECT con las siguientes características: color de los cables del arnés de comunicación, color de cable del voltímetro digital y el color de cable de los terminales de fácil medición que están unidos al arnés de comunicación principal.

Tabla 2.8: Cables conectados al ECT

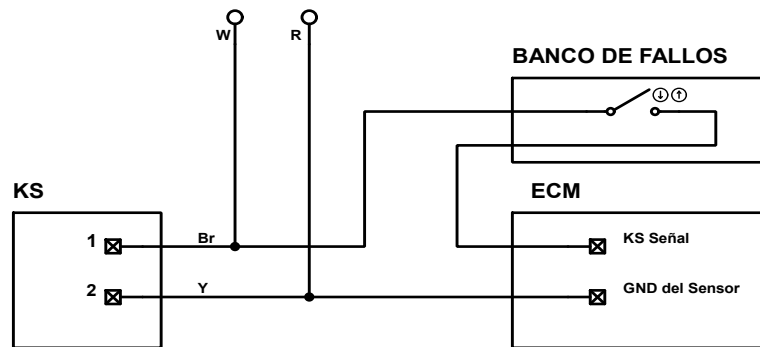
Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	L/O	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
2	W	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro

Detalle de los cables vinculados al sensor ECT, **Fuente:** Autores

2.2.7. Sensor KS

El esquema de la Figura 2.8, se llevó a cabo la interrupción en el primer terminal del sensor KS identificado con un cable de color marrón, direccionando en primer lugar el valor de tensión(señal) hacia el interruptor ubicado en el banco de fallos, para posterior del interruptor finalizar conectándose al terminal de entrada de la ECM. En cuanto a la descripción de los cables que han sido unidos a cada línea del sensor se encuentran detallados en la Tabla 2.9.

Figura 2.8: Diagrama de instrumentación en sensor KS



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor KS y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.9 contiene para cada uno de los terminales de conexión del KS, el color de cable tanto para el arnés de comunicación como para los que se encuentran unidos a este mismo que servirá para la fácil medición de tensión y obtención de oscilogramas.

Tabla 2.9: Cables conectados al KS

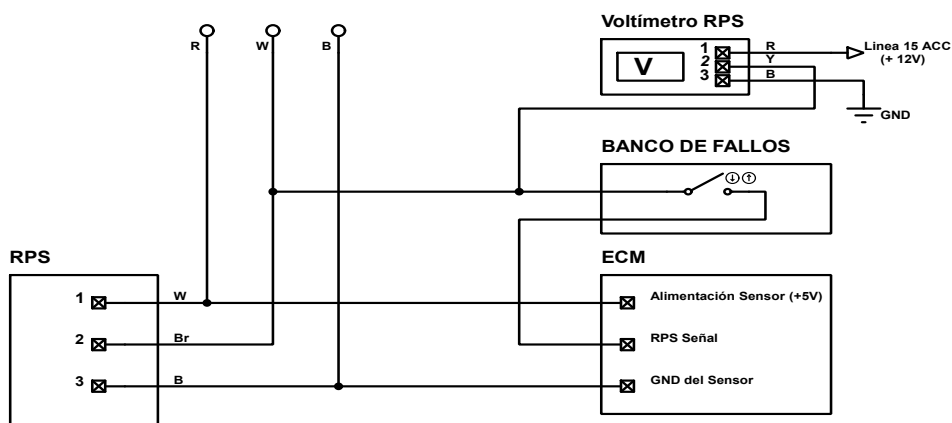
Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	Br	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado
2	Y	Conexión a GND del sensor
	R	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados al sensor KS, **Fuente:** Autores

2.2.8. Sensor de presión del riel de combustible

El diagrama que describe la Figura 2.9, que para la producción del fallo en el sensor RPS se interrumpe el segundo terminal identificado con un cable de color marrón, se direcciona el valor de tensión que es enviada por el sensor hacia el interruptor que se ubica en el banco de fallos, para después del interruptor terminar en el terminal de entrada de la ECM: el esquema también representa la conexión de un voltímetro digital capaz de medir la tensión del sensor RPS, la línea de medición identificada de un cable color amarillo del voltímetro se conecta en forma paralela a la línea que proviene desde el sensor llegando hasta el interruptor en el banco de fallos, la conexión se la realiza de tal modo que sea capaz de abrir el circuito, el sensor de manera continua sigue enviado valores de tensión, los cuales pueden ser medidos antes del punto donde se apertura el circuito.

Figura 2.9: Diagrama de instrumentación en sensor RPS



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor RPS y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.10 contiene información para cada una de las líneas de comunicación del sensor RPS con las siguientes características: color de los cables del arnés de comunicación, color de los cables del voltímetro digital y por último el color de los terminales de fácil medición que se encuentran unidos al arnés principal de comunicación, útiles para la medición de tensión.

Tabla 2.10: Cables conectados al RPS

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	W	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
2	Br	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro
3	B	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado

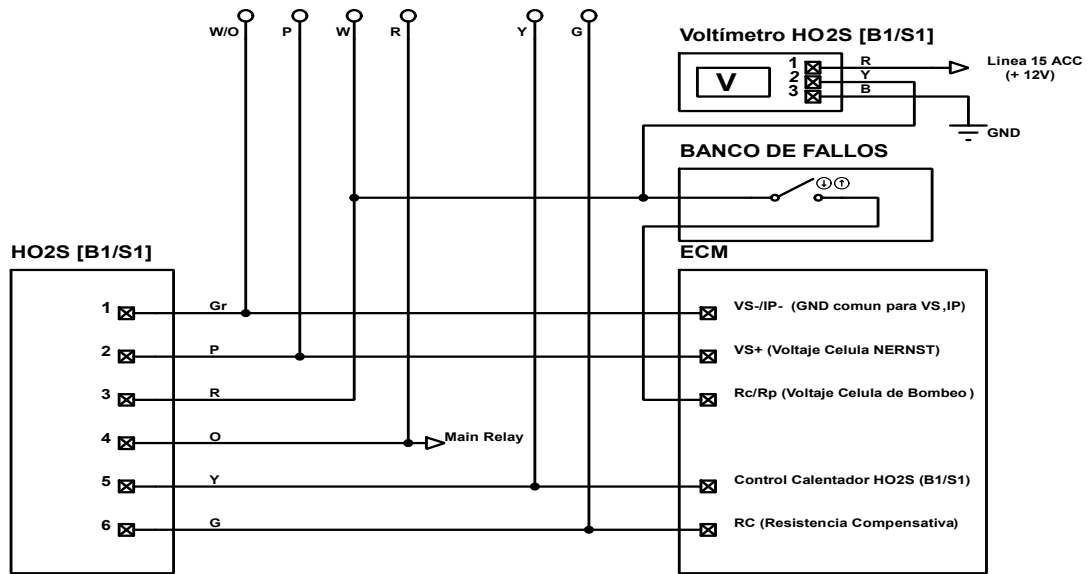
Detalle de los cables vinculados al sensor RPS, **Fuente:** Autores

2.2.9. Sensores O₂

- Pre-catalítico

Como muestra el diagrama de la Figura 2.10 en el sensor O₂ pre-catalítico se realizó la interrupción en la línea de comunicación del tercer terminal de conexión (cable rojo), conduciendo el valor de tensión (señal) proporcionado por el sensor hacia la entrada del interruptor en el banco de fallos, para posteriormente continuar desde la salida del interruptor hasta el terminal correspondiente en la ECM; en el diagrama también se representa la conexión de un voltímetro digital que permite visualizar la tensión del sensor durante el funcionamiento del banco, para ello se conectó la línea de medición de este voltímetro (cable amarillo) en paralelo con la línea que sale desde el sensor y llega hasta la entrada del interruptor, buscando que al abrir el circuito el sensor continúe enviando valores de tensión los cuales se los pueda visualizar, esto es factible únicamente realizando la unión antes del punto donde se apertura el circuito, es decir antes del interruptor.

Figura 2.10: Diagrama de instrumentación en sensor O₂ pre-catalítico



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor O₂ pre-catalítico y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.11 registra para cada una de las líneas de comunicación del sensor O₂ pre-catalítico las siguientes características: color de los cables del arnés de comunicación, color del cable del voltímetro digital y el color de cable de los terminales de fácil medición.

Tabla 2.11: Cables conectados a O₂ pre-catalítico

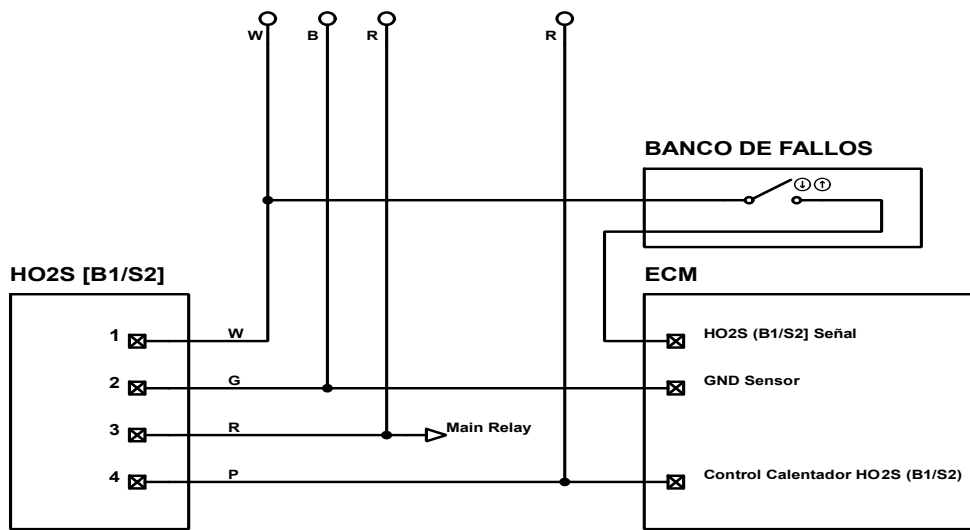
Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	Gr	Conexión a GND común para VS e IP
	W/O	Terminal de medición implementado
2	P	Voltaje positivo de la célula NERNST
	P morado	Terminal de medición implementado
3	R	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado
	Y	Línea de medición del voltímetro de O ₂ pre
4	O	Alimentación del calentador (B+)
	R	Terminal de medición implementado
5	Y	Control del calentador por parte de ECM
	Y	Terminal de medición implementado
6	G	Conexión de resistencia compensativa
	G	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados al sensor O₂ pre-catalítico, **Fuente:** Autores

- **Post-catalítico**

La Figura 2.11 representa el diagrama del sensor O₂ post-catalítico en el cual se indica que el corte de comunicación con la ECM se la realizo en el primer terminal mismo que presenta un cable blanco. Este cable conduce el valor de tensión de señal hacia la entrada del interruptor del banco de fallos, para posteriormente continuar desde la salida del interruptor hasta el terminal de entrada correspondiente en la unidad de control electrónica del motor. Los cables implementados a cada línea del sensor se los detalla en la Tabla 2.12.

Figura 2.11: Diagrama de instrumentación en sensor O₂ post-catalítico



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre el sensor O₂ post-catalítico y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

En la Tabla 2.12 se indica para cada uno de los terminales de conexión del O₂ post-catalítico, el color de los cables tanto del arnés de comunicación como de aquellos que van unidos a este, mismos que servirán para la fácil medición de tensiones y obtención de oscilogramas.

Tabla 2.12: Cables conectados a O₂ post-catalítico

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	W	Señal emitida por el sensor
	W	Terminal de medición implementado

2	G	Conexión a GND del sensor
	B	Terminal de medición implementado
3	R	Alimentación del sensor
	R	Terminal de medición implementado
4	P	Control del calentador por parte de ECM
	R	Terminal de medición implementado

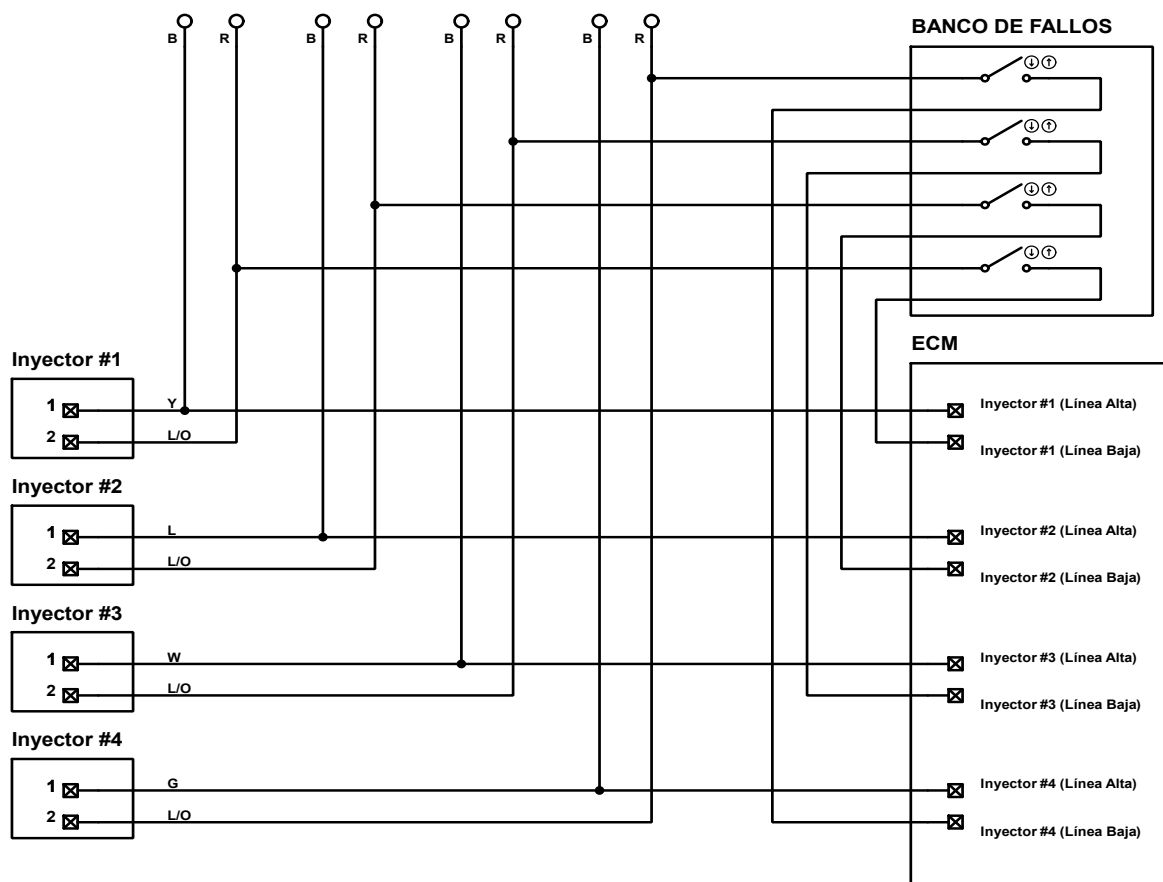
Detalle de los cables vinculados al sensor O₂ post-catalítico, **Fuente:** Autores

2.3. Descripción de la instrumentación realizada en los actuadores del sistema GDI

2.3.1. Inyectores

La Figura 2.12 muestra que en los inyectores la línea interrumpida para la generación del fallo es la línea de baja correspondiente al segundo terminal de cada uno de los inyectores, identificada por un cable de color azul con franja anaranjada, pues, a pesar de que esta línea posea el mismo color de cable para todos los inyectores, cada uno de los terminales se conectan de manera individual con la ECM, es por ello que, a todas las líneas de comunicación de los terminales número dos de los inyectores se las modifico direccionando la tensión de GND proporcionada por la ECM para la activación, hacia la entrada del interruptor, para luego continuar desde la salida del interruptor hasta llegar al inyector controlando así su accionamiento mediante la apertura del circuito. Para los cables de medición que han sido implementos, unidos a cada línea de comunicación de los inyectores respectivamente se los detalla con la información registrada en la Tabla 2.13.

Figura 2.12: Diagrama de instrumentación en inyectores



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre los inyectores del sistema GDI y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.13 proporciona información sobre los colores de los cables asociados a cada terminal de los inyectores, tanto en el arnés de comunicación como en aquellos conectados a este que han sido parte de la implementación del proyecto.

Tabla 2.13: Cables conectados a cada uno de los inyectores

Número de Inyector	Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	1	Y	Control ECM (Línea Alta)
		R	Terminal de medición implementado
	2	L/O	Control ECM (Línea Baja)
		B	Terminal de medición implementado

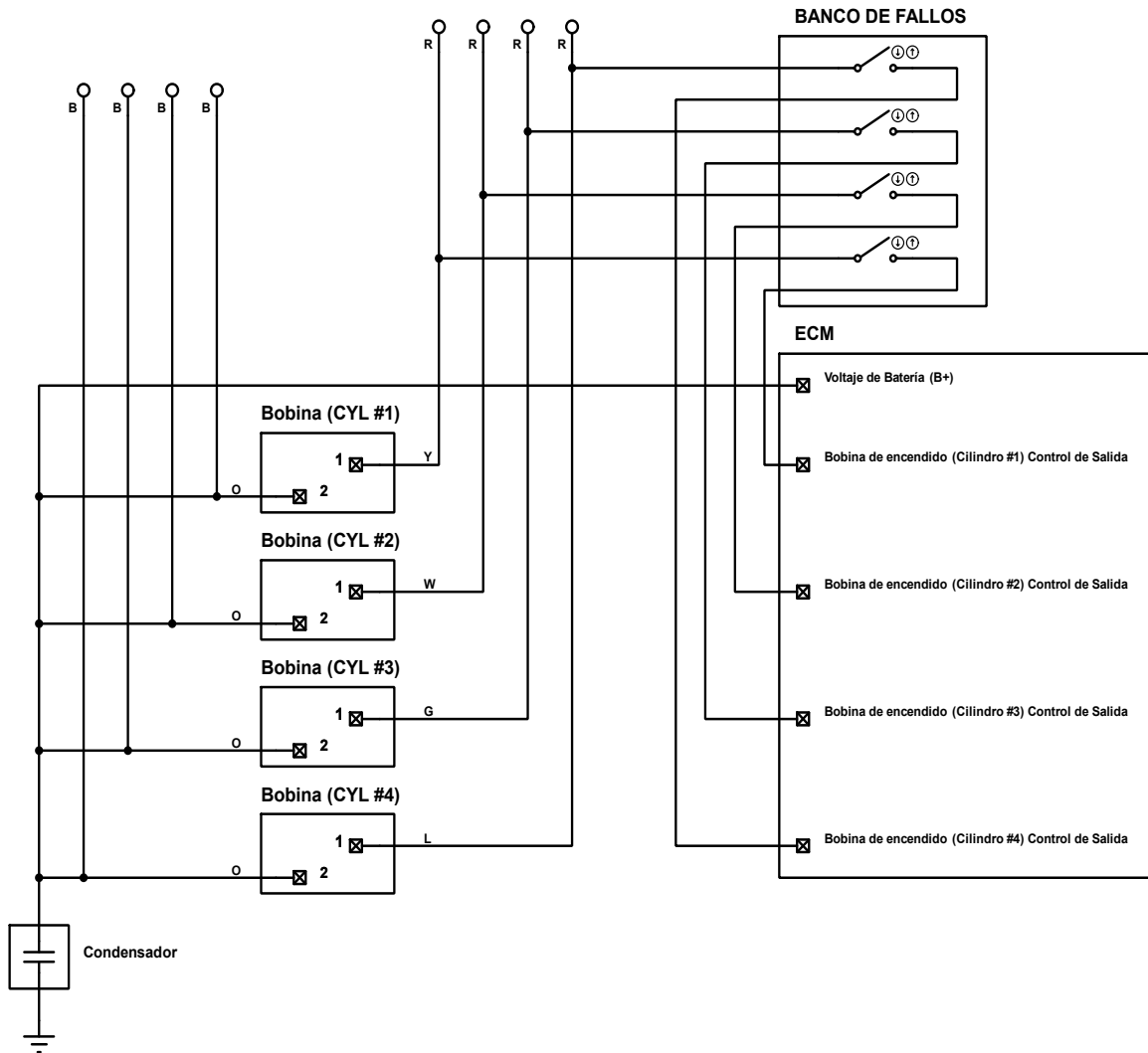
2	1	L	Control ECM (Línea Alta)
		R	Terminal de medición implementado
	2	L/O	Control ECM (Línea Baja)
		B	Terminal de medición implementado
3	1	W	Control ECM (Línea Alta)
		R	Terminal de medición implementado
	2	L/O	Control ECM (Línea Baja)
		B	Terminal de medición implementado
4	1	G	Control ECM (Línea Alta)
		R	Terminal de medición implementado
	2	L/O	Control ECM (Línea Baja)
		B	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados a los inyectores del sistema GDI, **Fuente:** Autores

2.3.2. Bobinas

En la Figura 2.13 se expone el diagrama de bobinas de encendido elaborado posteriormente a la implementación del banco de fallos, en dicho diagrama se muestra que la línea interrumpida para la generación de la avería es la línea de control de salida, correspondiente al primer terminal de cada una de las bobinas, identificado por un color de cable diferente para todas ellas, pues, cada uno de los terminales se conectan de manera individual con la ECM, es por ello que, a todas las líneas de comunicación de los terminales número uno de las bobinas de encendido del sistema COP se las modifico direccionando la tensión de control proporcionada por la ECM hacia la entrada del interruptor, para luego continuar desde la salida del interruptor hasta llegar a la bobina, regulando así su accionamiento mediante la apertura del circuito. Los cables de medición que han sido implementos, unidos a cada línea de comunicación de las bobinas de encendido respectivamente se los detalla con la información registrada en la Tabla 2.14.

Figura 2.13: Diagrama de instrumentación en bobinas de encendido



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre las bobinas de encendido del sistema COP y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

La Tabla 2.13 proporciona información sobre los colores de los cables asociados a cada terminal de los inyectores, tanto en el arnés de comunicación como en aquellos conectados a este que han sido parte de la implementación del proyecto.

Tabla 2.14: Cables conectados a cada una de las bobinas de encendido

Número de Bobina	Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	1	Y	Control de salida Cilindro #1 (ECM)
		R	Terminal de medición implementado
	2	O	Tensión de Batería (B+)
		B	Terminal de medición implementado
2	1	W	Control de salida Cilindro #2 (ECM)
		R	Terminal de medición implementado
	2	O	Tensión de Batería (B+)
		B	Terminal de medición implementado
3	1	G	Control de salida Cilindro #3 (ECM)
		R	Terminal de medición implementado
	2	O	Tensión de Batería (B+)
		B	Terminal de medición implementado
4	1	L	Control de salida Cilindro #4 (ECM)
		R	Terminal de medición implementado
	2	O	Tensión de Batería (B+)
		B	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados a las bobinas del sistema COP, **Fuente:** Autores

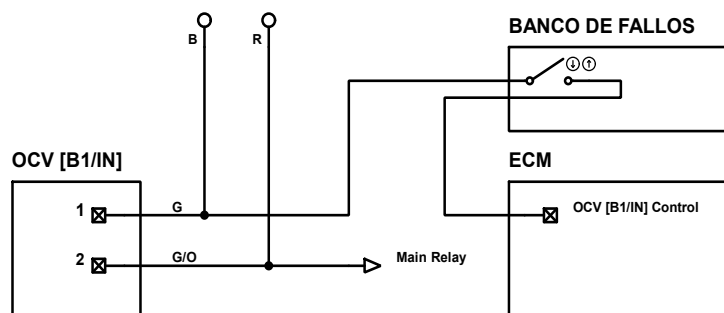
2.3.3. Válvulas de control de Aceite OCV

- OCV de admisión

La Figura 2.14, se identifica la línea la cual se tiene que interrumpir para la generación de fallos en el actuador OCV de admisión teniendo que realizar la apertura del circuito en el terminal uno el cual contiene un cable de color verde, direccionando así la tensión de control del actuador de manera que en primera instancia llegue al interruptor en el banco de fallos para posterior continúe hasta el terminal de entrada correspondiente a la ECM.

En la Tabla 2.15 se menciona que para cada una de las líneas de comunicación del actuador OCV de admisión conteniendo las siguientes características: colores del cable del arnés, color de cables de los terminales de fácil medición que se encuentran unidos al arnés de comunicación principal.

Figura 2.14: Diagrama de instrumentación en las OCV de admisión



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre la OCV de admisión y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

Tabla 2.15: Cables conectados a la OCV de admisión

Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	G	Control OCV [IN]
	B	Terminal de medición implementado
2	G/O	Main Relay – Voltaje de Batería (B+)
	R	Terminal de medición implementado

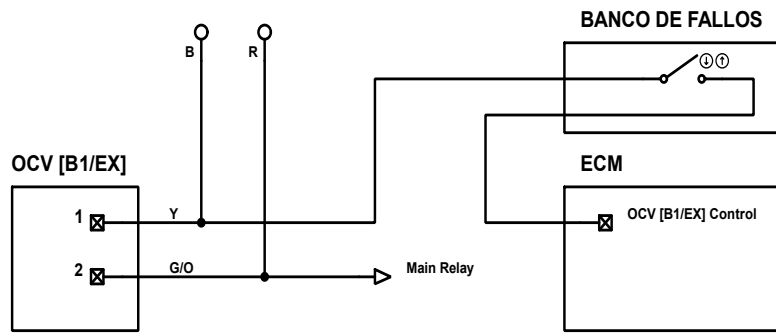
Detalle de los cables vinculados a la OCV de admisión, **Fuente:** Autores

- **OCV de escape**

Para la generación de fallo detallado del actuador OCV de escape se detalla en la Figura 2.15, se realiza una interrupción en el terminal uno el cual tiene un cable de color amarillo, direccionando así la tensión de control del actuador en primera instancia hacia el interruptor incorporado en el banco de fallos para posterior continuar hasta el terminal de entrada correspondiente en la ECM.

En la Tabla 2.16 contiene la información sobre el actuador OCV de escape para cada una de las líneas de comunicación conteniendo las siguientes características: color de cables del arenes de comunicación y color de los cables de fácil medición de tensión y obtención de oscilogramas.

Figura 2.15: Diagrama de instrumentación en las OCV de escape



Circuito eléctrico de la instrumentación realizada sobre la OCV de escape y su conexión con la ECM, **Fuente:** Autores

Tabla 2.16: Cables conectados a la OCV de escape

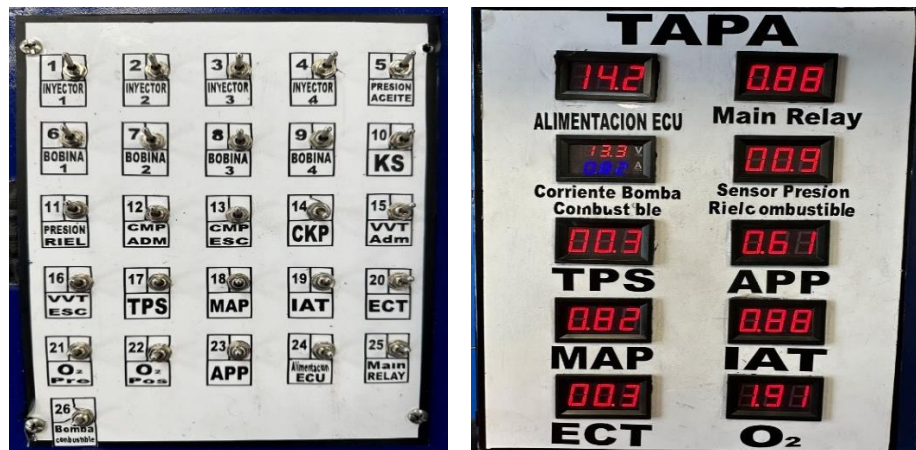
Terminal de conexión	Color de cable	Descripción
1	Y	Control OCV [EX]
	B	Terminal de medición implementado
2	G/O	Main Relay - Voltaje de Batería (B+)
	R	Terminal de medición implementado

Detalle de los cables vinculados a la OCV de escape, **Fuente:** Autores

2.4. Estado de los elementos incorporados al banco de motores YES01 3111

En la Figura 2.16 se muestra en la imagen del extremo izquierdo la condición final del generador de fallos incorporado sobre el banco de motores YES01 3111, donde, se puede apreciar 26 interruptores al interior de recuadros en los cuales se indica el nombre del sensor o actuador sobre el cual actúa el interruptor respectivamente para cortar la comunicación con la unidad de control electrónico perteneciente al motor G4KJ. Adicionalmente, sobre la estructura en la cual se montó el generador de fallos también se incorporaron los voltímetros digitales, tal y como muestra la representación gráfica ubicada en el extremo derecho; dichos voltímetros permiten visualizar la tensión de funcionamiento de los principales sensores en los cuales es posible evidenciar esta variación de valores de voltaje durante la operación del motor.

Figura 2.16: Banco Generador de fallos y medidores de tensión



Estructura de banco generador de fallos y voltímetros digitales, **Fuente:** Autores

Con la implementación del proyecto se integró al banco de motores YES01 3111 una interfaz de conexión bluetooth ELM 327 junto a una tableta con sistema Android provista del software Torque como se muestra en la Figura 2.17, con los cuales, gracias a la interfaz se enviará el flujo de datos proporcionado por la ECM del motor en tiempo real hacia la tableta en donde mediante el software se permite observar el comportamiento de los distintos identificadores de parámetros de funcionamiento (PID's) descritos por los sensores y actuadores, haciendo posible la monitorización de datos en vivo previos y posteriores a la producción de averías, además, gracias al software es posible guardar los valores del flujo de datos para posteriormente exportar la información y poder analizarla.

Figura 2.17: Interfaz ELM 327 y tableta con software Torque



Elementos para visualización y almacenamiento de flujo de datos, **Fuente:** Autores

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para comprobar el funcionamiento del banco de fallos en cascada implementado con el proyecto se estudiará el comportamiento del oscilograma descrito por el inyector y la bobina de encendido al efectuar los diferentes fallos sobre los sensores y actuadores del sistema de control electrónico del motor, pues, de manera especial el análisis del comportamiento del sistema de inyección resulta de gran interés al tratarse de un motor que cuenta con sistema de inyección directa GDI. Sin embargo, en el estudio también se considerarán y describirán aquellos parámetros de funcionamiento que se vean afectados al producir las distintas averías. Es por ello que en este capítulo se abordará el proceso de prueba realizado en la experimentación y se expondrá el análisis de datos obtenidos sobre el comportamiento de los elementos mencionados anteriormente.

3.1. Proceso de pruebas

Para la realización de las pruebas se consideró dos rangos de funcionamiento del motor, el primero fue a marcha mínima o ralentí cuyo giro del motor se encuentra entre 600 a 700 rpm y el segundo fue a un régimen de giro del motor de 2500 rpm, ambos rangos se consideraron debido a que por un lado cuando el motor se encuentra en ralentí permite identificar con mayor facilidad si posee algún fallo provocando sonidos atípicos, inestabilidad, aceleraciones y desaceleraciones; en cuanto al régimen de giro de 2500 rpm fue seleccionado debido a que en el rango de 2000 a 2500 rpm el motor de combustión interna de encendido provocado tiene el menor consumo de combustible (Luis et al., 2018), además de las consideraciones anteriores los regímenes de giro del motor utilizados en las pruebas se basa en la normativa INEN, Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos, 2003 y en lo mencionado por los autores (Rivera et al., 2017) en su estudio. Otro factor que se tuvo en cuenta es la temperatura de funcionamiento, ya que si se realiza la recopilación de datos con el motor en frío el pulso de inyección se verá afectado debido a los parámetros comandados por la unidad de control electrónica del motor ECM.

La ejecución de pruebas de funcionamiento se la realizó sobre el inyector y bobina de encendido pertenecientes al primer cilindro, para ello se conectaron osciloscopios automotrices haciendo uso de los terminales de medición unidos a las líneas de

comunicación tanto del inyector como de la bobina de encendido, mismos que fueron implementados con el proyecto para evitar dañar el cableado principal y terminales de conexión que comunican directamente con la ECM; debido a que se requiere evaluar los parámetros que se ven afectados al producir las averías resulta necesario la conexión de un scanner automotriz al puerto OBDII de manera que mediante el uso del scanner se registre el flujo de datos proporcionado por el motor MGK4 de Hyundai para su posterior análisis. En cuanto a la producción de averías se hizo uso del banco de fallos en cascada con el cual se provocaron los fallos en el funcionamiento de los distintos sensores y actuadores del sistema de control electrónico del motor.

3.2. Análisis de datos y oscilogramas

Con los datos proporcionados por la ECM del motor durante el funcionamiento y registrados mediante el escáner automotriz es posible analizar aquellos que sufren afectaciones notorias en sus rangos de trabajo posteriormente a la producción de la avería, pues, mediante una comparación de ambos valores pre-avería y post-avería es posible establecer la diferencia porcentual entre ambos valores, misma que permitirá evidenciar la afectación que producen determinados fallos de sensores y actuadores sobre el funcionamiento del motor.

Los sensores y actuadores describen un oscilograma característico durante su funcionamiento, no ajeno a ello los inyectores GDI y las bobinas de encendido COP implementados en el motor G4KJ poseen un oscilograma que cuenta con zonas de interés que permiten interpretar la condición de funcionamiento de ambos actuadores y con ello el estado de la gestión electrónica del motor, pues, haciendo uso del eje de tiempo y el eje de tensión de su oscilograma se pueden observar formas de onda, picos de tensión e intervalos de duración de una zona de interés de la gráfica que se traducen en fallos o cambios sobre parámetros de funcionamiento de la control electrónico del motor. El análisis de los oscilogramas es posible gracias al uso de un osciloscopio el cual permite la visualización de la forma de onda descrita y la recolección de los valores de tensión y tiempo que permiten graficar dicha onda, estos datos para el estudio serán exportados en formato de valores separados por coma CSV para su postratamiento con la ayuda del software Matlab el cual permite graficar la forma de onda obtenida en el oscilograma y destacar aquellos puntos de

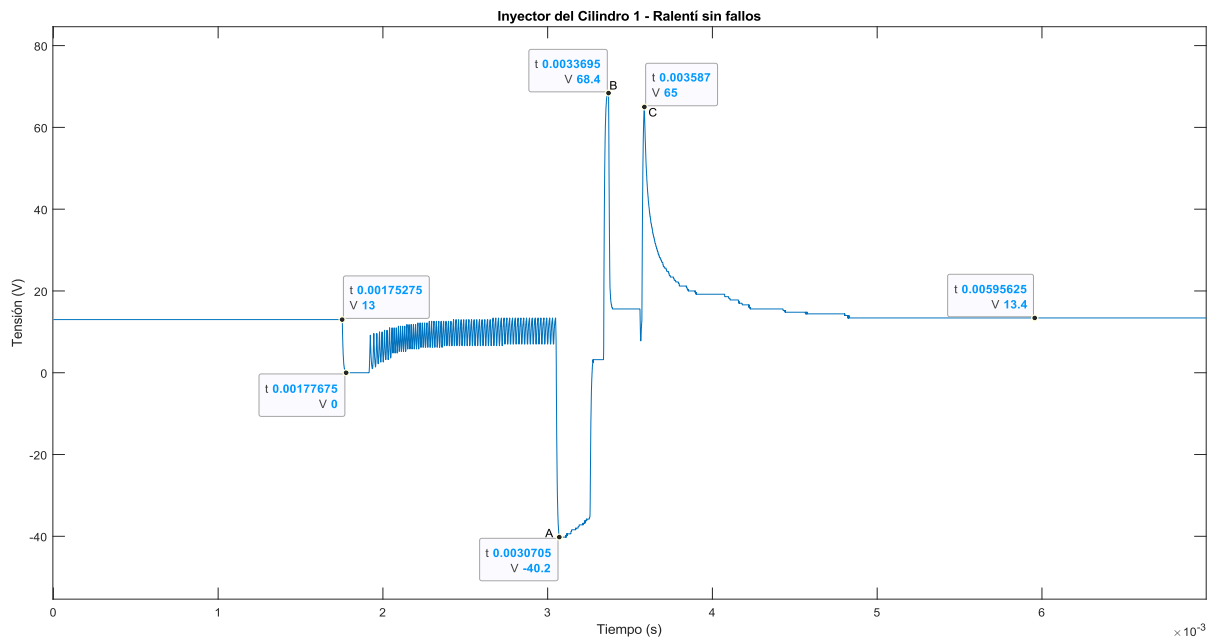
interés que faciliten el análisis del comportamiento del actuador después de haberse producido el fallo de algún sensor perteneciente al control electrónico del motor.

3.3. Comportamiento del control electrónico del motor G4KJ en condición de marcha mínima durante el efecto producido por fallas sobre sensores y actuadores

3.3.1. Funcionamiento normal sin fallos

En la Figura 3.1 se muestra el oscilograma descrito por el inyector en su funcionamiento normal en condiciones de ralentí, en él se puede apreciar las siguientes características: el valor más bajo de tensión es de **-40.2V**, el valor más alto de tensión es igual a **68.4V** en el punto **B**; en cuanto a intervalos de tiempo para el análisis se tiene el tiempo en que el inyector permanece abierto el cual es de **0.22 ms** y el tiempo de apertura del inyector que es de **0.52 ms**, ambos términos aunque pueden sonar similares no representan lo mismo pues según los autores (Pérez Belló, 2011) el tiempo de apertura del inyector es igual a la suma del tiempo desde el instante en el cual inicia el proceso de apertura (**A-B**) sumado al tiempo en que el inyector permanece abierto (**B-C**) (TiePie, 2019). Los valores mencionados se resumen en la Tabla 3.1 misma que contiene los datos que servirán para comparar la diferencia que existe en el comportamiento del inyector al generar las distintas averías en actuadores y sensores.

Figura 3.1: Oscilograma de inyector en condiciones de ralentí sin fallos



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima en funcionamiento normal sin avería, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí

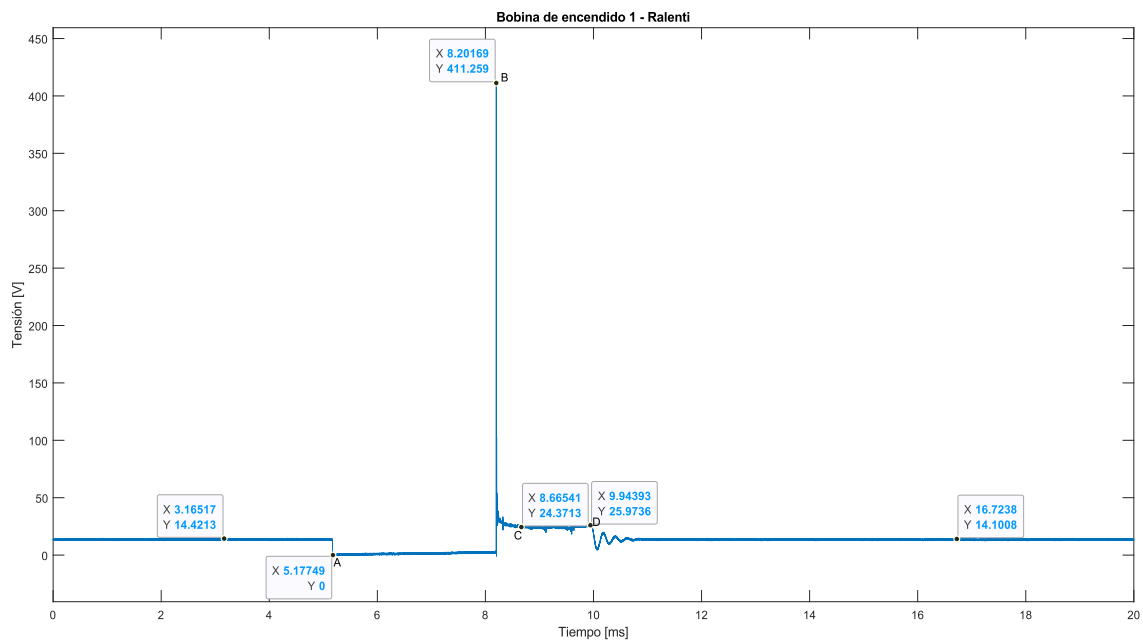
Variable	Valor
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]
Pico máximo de tensión	68.4 [V]
Pico mínimo de tensión	-40.2 [V]

Valores obtenidos del oscilograma del inyector en ralentí sin fallos, **Fuente:** Autores

La Figura 3.2 permite apreciar el oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de marcha mínima sin generación de fallos, en este se puede apreciar características como: valor máximo de tensión también denominado tensión de encendido o pico inductivo de **411.26V** (Punto B), tensión de inflamación con un valor de **24.37V** (Punto C); en cuanto a zonas

representativas del oscilograma para el análisis se tiene el periodo de Dwell o también denominado periodo de saturación (Zona A-B) el cual es de **3.02ms** y finalmente la duración de la chispa o también denominado como tiempo de quemado (Zona B-D) el cual es de **1.74ms** (Alonso, 2014; SICAA, 2019). El autor (Pérez Belló, 2011) considera todas estas características del oscilograma relevantes para analizar el comportamiento y realizar diagnósticos de la bobina de encendido. En la Tabla 3.2 se muestra todas las variables características del oscilograma y sus valores de manera sintetizada.

Figura 3.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí sin fallos



Forma de onda descrita por la bobina de encendido perteneciente al cilindro uno en condiciones de marcha mínima sin fallos, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido en ralentí

Variable	Valor
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]
Tensión de inflamación	24.37 [V]

Periodo de Dwell	3.02 [ms]
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [ms]

Valores obtenidos del oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de marcha mínima sin fallos, **Fuente:** Autores

Para el análisis de la incidencia de los fallos producidos sobre los distintos sensores y actuadores resulta necesario además la recopilación de parámetros proporcionados por la ECM, esto es posible gracias al flujo de datos proporcionado por el control electrónico del motor y almacenado por un scanner automotriz, es así que en la Tabla 3.3 se registran las variables más influyentes (PID) en condición de marcha mínima del motor sin presencia de averías, dichos valores serán útiles para la comparación al contrastar el comportamiento del flujo de datos posterior a la producción de distintos fallos focalizados sobre sensores y actuadores.

Tabla 3.3: Valores característicos del flujo de datos en ralentí

Variables más influyentes (PID)	Valor
Tiempo de inyección	0.52 [V]
Posición del pedal del acelerador (sensor 1)	0.73 [V]
Señal del sensor ECT	0.42 [v]
Posición de la mariposa de aceleración (ángulo 1)	1.96 [°]
Presión del colector de admisión	247.93 [hPa]
Señal del señor MAP	1.02 [V]
Señal del sensor de la temperatura del aire	1.18 [V]
Velocidad actual del motor	625 [rpm]
Porcentaje de adaptación de combustible	6.33 [%]

Angulo de apertura (regulador de presión de combustible)	3.98 [°]
Presión de combustible	40.29 [Bar]
Sensor de la presión de combustible	1.14 [V]
Estado de la CVVT	ENABLE
Relay del ventilador de refrigeración (alta)	OFF
Estado de la luz de check o MIL	OFF

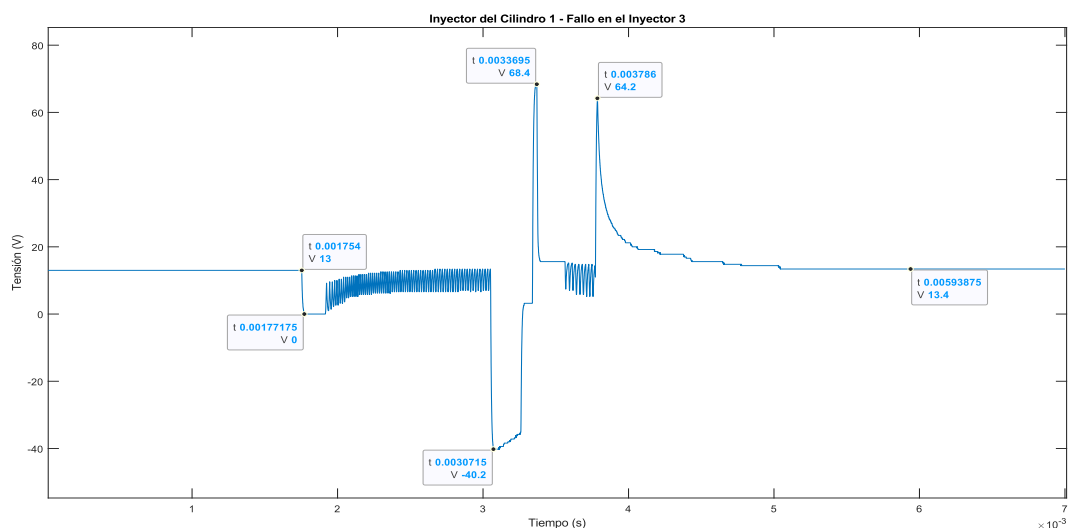
Valores obtenidos del flujo de datos del scanner conectado al motor G4KJ del sistema GDI,

Fuente: Autores

3.3.2. Fallo producido en inyectores

La Figura 3.3 muestra el oscilograma del inyector al producir un fallo sobre otro inyector del sistema GDI del motor, a partir del oscilograma se obtuvo los valores de la Tabla 3.4 donde también se exponen los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia que existe al contrastar los datos en ambas condiciones de funcionamiento.

Figura 3.3: Oscilograma de inyector en condiciones de ralentí con fallo en otro inyector



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo sobre el inyector del cilindro tres, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.4: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con fallo producido en inyectores

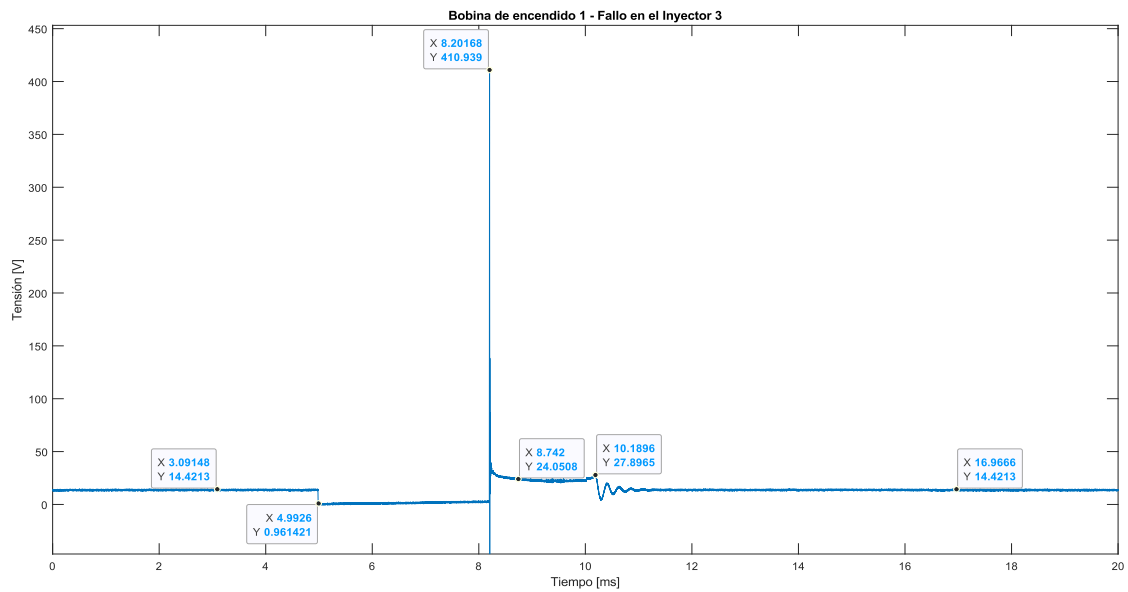
Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]	0.72 [ms]	38.5 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]	0.42 [ms]	90.91 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40.2 [V]	- 40.2 [V]	0 %

Datos obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima sin fallos y con fallo en otro inyector del sistema GDI, **Fuente:** Autores

Como se puede apreciar en la Tabla 3.4 al fallar uno de los inyectores se tiene un incremento excesivo en el tiempo que el inyector permanece abierto, esto se traduce en un mayor consumo de combustible y producción de emisiones, pues, ingresa mayor cantidad de HC del combustible los cuales no consiguen combustiones completamente, sin embargo, la ECM gestiona esta orden para tratar de equiparar la ausencia de funcionamiento del inyector con avería. Adicionalmente se puede notar una clara inestabilidad del motor, producción de código de falla (DTC) y producción de sonidos y vibraciones atípicas.

En la Figura 3.4 se encuentra el oscilograma de la bobina de encendido al producir un fallo sobre un inyector del sistema de inyección GDI del motor, a partir del oscilograma se obtuvo los valores representativos expuestos en la Tabla 3.5 donde también se muestran los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia que existe entre ambos.

Figura 3.4: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre un inyector



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo el inyector del cilindro tres, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.5: Valores característicos del oscilograma de la bobina en ralentí con fallo producido en inyectores

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.94 [V]	- 0.08 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.05 [V]	-1.31 %
Periodo de Dwell	3.02 [ms]	3.21 [ms]	6.29 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [ms]	1.99 [ms]	14.37 %

Datos obtenidos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima sin fallos y con fallo sobre inyector del sistema GDI, **Fuente:** Autores

Al producirse un fallo sobre un inyector el periodo de saturación o periodo de Dwell incrementa en un 6.29% (ver Tabla 3.5), dicho incremento permite prolongar la duración de chispa o tiempo de quemado en un 14.37% (ver Tabla 3.5), pues, al tener un mayor periodo de saturación del condensador y devanado primario de la bobina se logra que esta se encuentre mejor cargada y posea mayor energía que permite alargar la duración de la chispa.

En la Tabla 3.6 se muestra la descripción de las variables influyentes que se ven afectadas por la generación del fallo, al producir la avería el motor adopta un funcionamiento inestable notándose visualmente que en el tacómetro el número de revoluciones oscilan y de manera auditiva se escuchan sonidos atípicos característicos de un funcionamiento inestable. Del mismo modo se puede ver que el tiempo de la apertura del inyector aumenta, sin embargo, a pesar de existir una mayor inyección de combustible que en la etapa inicial sin falla se pierde potencia del motor y las revoluciones por minuto decrecen.

Tabla 3.6: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del inyector

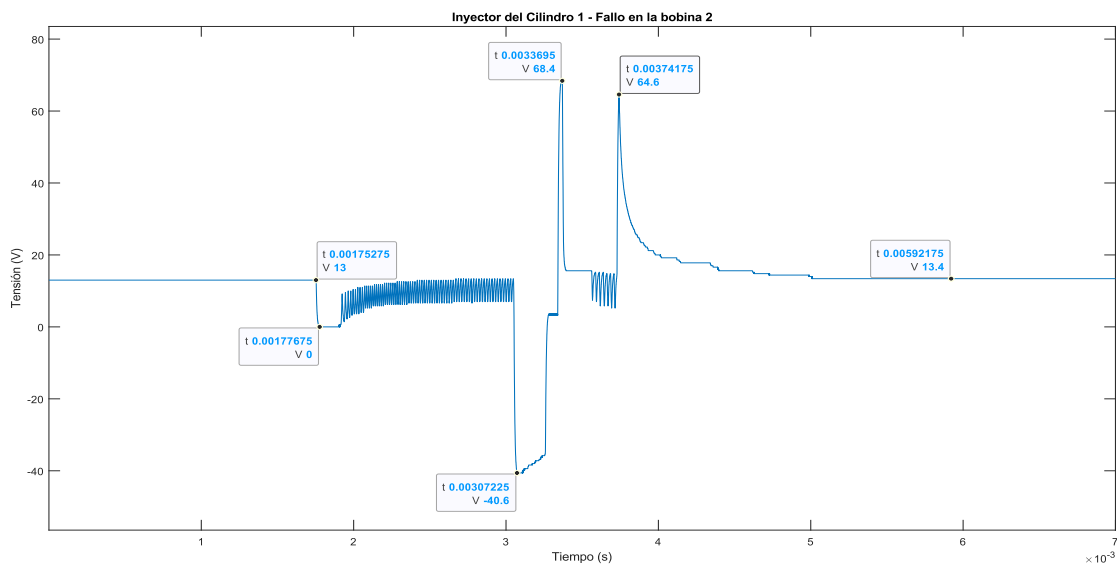
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.72 [ms]	38.5 %
Posición de la mariposa de aceleración ángulo 1	1.96 [°]	2.37 [°]	20.92 %
Presión del colector de admisión	247.93 [hPa]	286.56 [hPa]	15.58 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Código de fallos	P0203, P0203		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en un inyector GDI, **Fuente:** Autores

3.3.3. Fallo producido en bobina de encendido

A partir del oscilograma que describe un inyector al provocar una avería sobre una bobina del sistema de encendido (Figura 3.5) se obtuvo los valores expuestos en la Tabla 3.6, donde adicionalmente se contrasta los valores resultantes de la avería con aquellos que caracterizan a un oscilograma de funcionamiento normal (sin averías) con la finalidad de reconocer la influencia que tiene el fallo ocasionado sobre el control del funcionamiento del inyector.

Figura 3.5: Oscilograma de inyector en condiciones de ralentí con fallo en una bobina



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo sobre la bobina de encendido del segundo cilindro, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.7: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con fallo producido sobre bobina de encendido

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]	0.67 [ms]	28.84 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]	0.37 [ms]	68.18 %

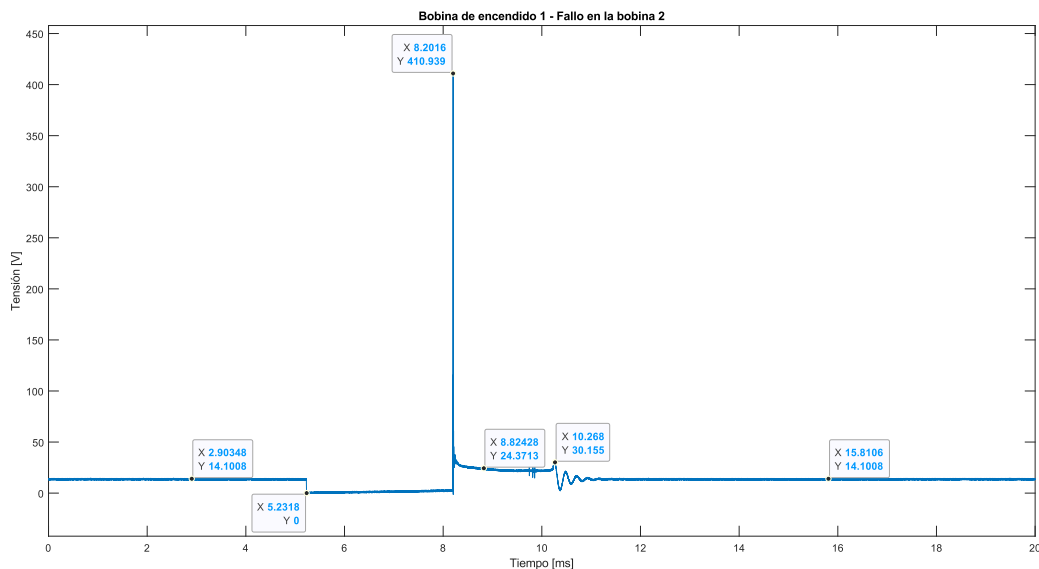
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40.2 [V]	- 40.6 [V]	1 %

Valores extraídos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir fallo en una bobina de encendido, **Fuente:** Autores

La Tabla 3.6 muestra que la variable que sufre mayor influencia al producir un fallo sobre una de las bobinas de encendido es el tiempo en que el inyector permanece abierto pues este se incrementa en un 68.18% elevado con ello el consumo de combustible, esto también se corrobora con el incremento del tiempo de apertura del inyector en un 28.84%.

El oscilograma de la bobina de encendido en régimen de ralentí al producir un fallo sobre otra bobina de encendido del sistema COP se expone en la Figura 3.6, dicho oscilograma permite obtener valores representativos del funcionamiento de la bobina bajo el fallo producido, estos valores se incluyen en la Tabla 3.8 en la que además se muestran los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia existente entre ambos.

Figura 3.6: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre otra bobina del sistema de encendido COP



Forma de onda de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en la bobina del segundo cilindro, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.8: Valores característicos del oscilograma de la bobina en ralentí al producir fallo sobre otra bobina de encendido

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.94 [V]	-0.08 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.37 [V]	0 %
Periodo de Dwell	3.02 [ms]	2.97 [ms]	-1.66 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [ms]	2.07 [ms]	18.97 %

Datos obtenidos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima con fallo producido sobre la bobina del cilindro dos, **Fuente:** Autores

La Tabla 3.8 muestra que, al existir una anomalía en el funcionamiento de una bobina de encendido, el tiempo de duración de la chispa en las bobinas que se encuentran funcionando correctamente es del 18.97% con relación a una condición de funcionamiento normal (sin avería) esto se debe a la reducción del régimen de giro y al incremento de combustible que ingresa al cilindro, pues se necesita la aportación de calor suficiente para lograr combustionar el combustible adicional inyectado por la ECM que trata de compensar el mal funcionamiento en uno de los cilindros.

Mediante los valores proporcionados por el flujo de datos de la gestión electrónica del motor en el funcionamiento de este sin avería y con avería producida sobre una de las bobinas de encendido (ver Tabla 3.9), se observa que al faltar en una bobina se tiene una reducción del par motor, el consumo de combustible incrementa y que a pesar de dicha condición de mayor inyección de combustible se pierde la potencia del motor, teniendo como consecuencia mayor emisiones contaminantes, HC no combustionados y un olor fuerte a gasolina debido a la ausencia del proceso de combustión en el cilindro en el cual falla la bobina.

Tabla 3.9: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo de la bobina de encendido

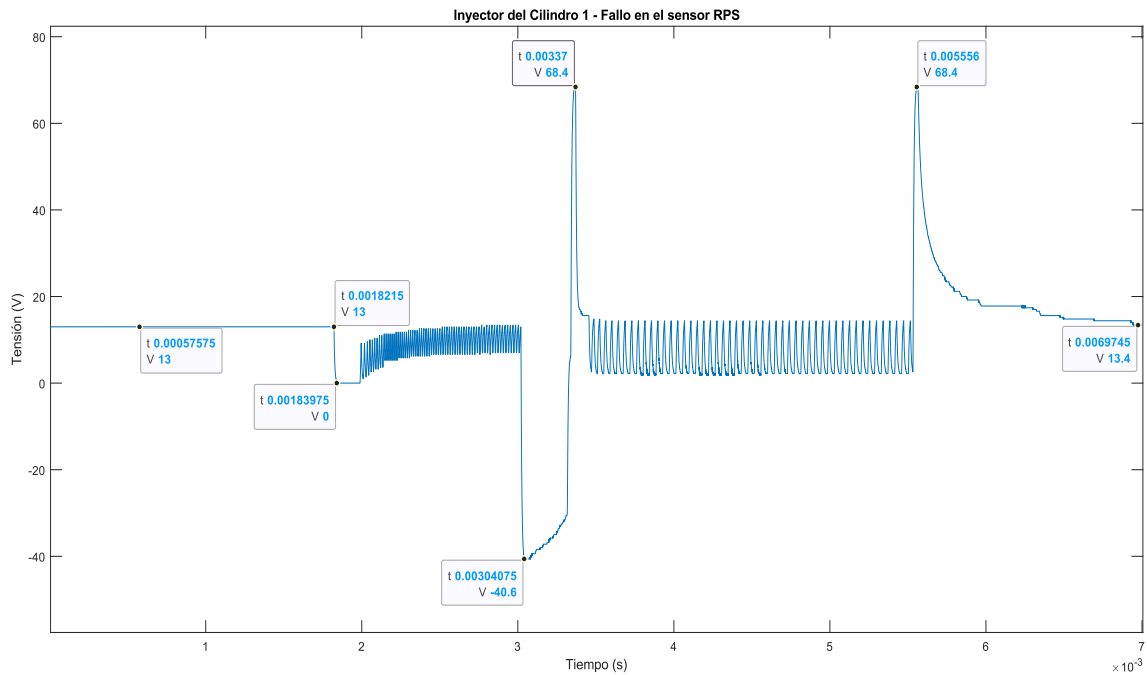
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.67 [ms]	28.84 %
Posición de la mariposa de aceleración ángulo 1	1.96 [°]	2.47 [°]	20.9 %
Presión del colector de admisión	247.93 [hPa]	287.66 [hPa]	15.6 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Sensor de la presión de combustible	1.14 [V]	1.18 [V]	3.51 %

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en bobina de encendido GDI, **Fuente:** Autores

3.3.4. Fallo en sensor de presión del riel de combustible (RPS)

La Figura 3.7 expone el oscilograma de un inyector en régimen de ralentí al generar un fallo en el sensor RPS, a partir de este oscilograma se obtuvo los valores sintetizados en la Tabla 3.10 donde también se exponen los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia que existe al contrastar los datos en ambas condiciones de funcionamiento del inyector.

Figura 3.7: Oscilograma de inyector en marcha mínima con avería en el sensor RPS



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo sobre el sensor RPS, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.10: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con fallo producido en RPS

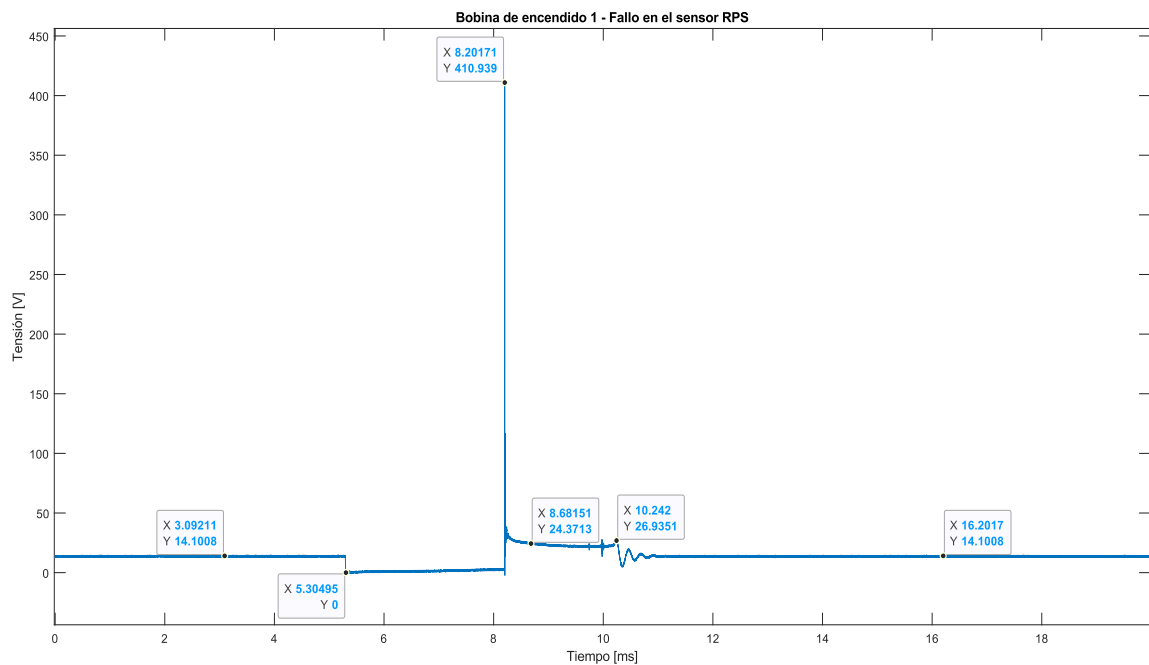
Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]	2.52 [ms]	384.62 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]	2.19 [ms]	895.45 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40.2 [V]	- 40.6 [V]	1 %

Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir fallo en el sensor RPS, **Fuente:** Autores

Los valores de la Tabla 3.8 muestran que al producirse un fallo en el sensor de presión de combustible el tiempo que el inyector permanece abierto se incrementa en un 895.45% existiendo una diferencia abismal con relación al tiempo que el inyector se encuentra abierto suministrando combustible en condiciones normales sin averías, esto también se lo nota en el incremento del 384.62% en el tiempo de apertura del inyector, estas afectaciones en el funcionamiento del inyector se traducen en un incremento exponencial del consumo de combustible y de producción de emisiones ya que la cantidad que se encuentra ingresando a la cámara es excesiva reduciendo la eficiencia de la combustión .

En la Figura 3.8 se muestra el oscilograma descrito por la bobina de encendido en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor de presión del riel RPS, el oscilograma permite obtener valores característicos del funcionamiento de la bobina posterior a la generación de la avería, estos valores se encuentran en la Tabla 3.11 donde adicionalmente se incluye el porcentaje de diferencia existente entre los valores previos al fallo y posteriores a la generación del fallo.

Figura 3.8: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de marcha mínima con avería en el sensor RPS



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor de presión del riel RPS, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.11: Valores característicos del oscilograma de la bobina en ralentí al producir fallo en el sensor RPS

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.94 [V]	-0.08 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.37 [V]	0 %
Periodo de Dwell	3.02 [ms]	2.90 [ms]	-3.97 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [ms]	2.04 [ms]	17.24 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de ralentí al producir un fallo en el sensor de presión del riel de combustible RPS, **Fuente:** Autores

Al producirse una avería en el funcionamiento del sensor RPS el comportamiento de la bobina de encendido se ve afectado incrementando el tiempo de quemado o duración de chispa en un 17.24% tal y como se muestra en la Tabla 3.11 donde además se puede notar que el tiempo de Dwell se reduce un 3.97% aunque dicho cambio no es significativo al ser mínimo.

En la Tabla 3.12 se desarrolla el fallo en el sensor de presión del riel de combustible, por lo cual el sentido auditivo se ve involucrado por la pérdida del sonido característico de la bomba de alta presión de combustible, como consecuencia también desata en el aumento de apertura del inyector incrementado el consumo de combustible por la ausencia del censado de la presión de combustible en el riel. Como consecuencia de la producción del fallo el motor se apaga de manera inmediata, posterior aun con el fallo el vehículo enciende sin dificultad. En el análisis de datos también se observa que la presión del combustible decrece de manera elevada por el motivo que el ángulo de la apertura del regulador de la presión de combustible se anula.

Tabla 3.12: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor RPS

Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	2.52 [ms]	384.62 %
Angulo de apertura (regulador de presión de combustible)	3.98 [°]	0 [°]	-100 %
Presión del combustible	40.29[Bar]	5.01 [Bar]	-87.57 %
Sensor de la presión de combustible	1.14 [V]	4.79 [V]	320.18 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Código de fallos	P0193		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en RPS, **Fuente:** Autores

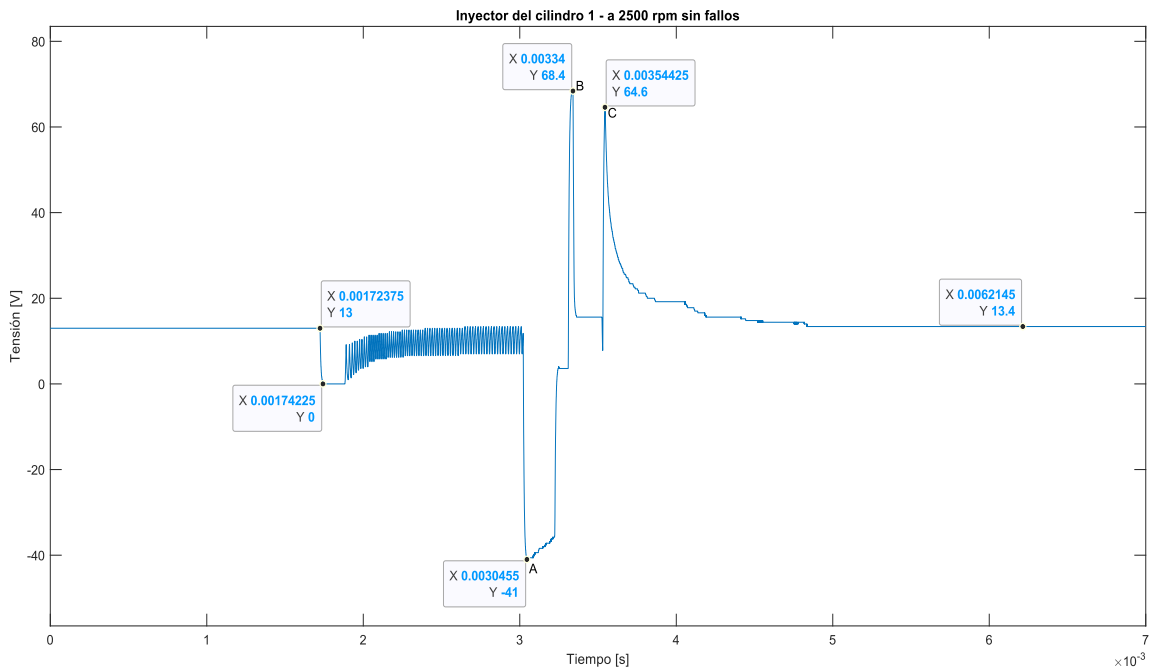
3.4.Comportamiento del control electrónico del motor G4KJ con régimen de giro de 2500 rpm durante el efecto producido por fallas sobre sensores y actuadores

3.4.1. Funcionamiento normal sin fallos

La Figura 3.9 exhibe el oscilograma que describe el funcionamiento normal del inyector a una velocidad de giro del motor de 2500 rpm sin presencia de averías. En dicho registro, se destacan las siguientes características: valor mínimo de tensión **-41V** (punto A), valor máximo de tensión **68.4V** (punto B), tiempo de apertura del inyector de **0.5 ms** (zona A-C) y el tiempo en el cual el inyector permanece abierto **0.20 ms** (zona B-C). El tiempo de apertura del inyector se define como la suma del tiempo desde el inicio del proceso de

apertura (A-B) más el tiempo durante el cual el inyector permanece abierto (B-C)(Pérez Belló, 2011; TiePie, 2019). Los datos indicados se condensan en la Tabla 3.12, la cual incluye la información destinada a evaluar las disparidades en el rendimiento del inyector al provocar diversas fallas en actuadores y sensores

Figura 3.9: Oscilograma de inyector a 2500 rpm sin fallos



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en un régimen de 2500 rpm en funcionamiento normal sin avería, **Fuente:** Autores.

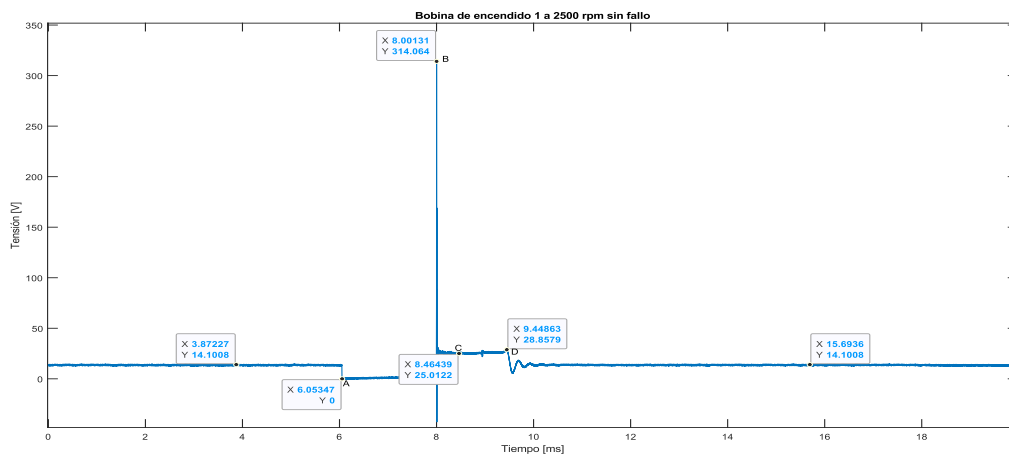
Tabla 3.13: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm

Variable	Valor
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]
Pico máximo de tensión	68.4 [V]
Pico mínimo de tensión	-41 [V]

Valores obtenidos del oscilograma del inyector a 2500 rpm sin fallos, **Fuente:** Autores

La Figura 3.10 presenta el oscilograma de la bobina de encendido en un régimen de 2500 rpm sin la presencia de fallos. En dicho oscilograma, se destacan las siguientes características: valor máximo de tensión (pico inductivo) **314.06V** en el Punto B, tensión de inflamación **25.01V** (Punto C), periodo de saturación o de Dwell **1.95ms** (Zona A-B) y finalmente, duración de la chispa **1.45ms** (Zona B-D) (Alonso, 2014; SICAA, 2019). La Tabla 3.14 presenta de manera resumida todas las variables distintivas del oscilograma, acompañadas de sus respectivos valores.

Figura 3.10: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm sin fallos



Forma de onda descrita por la bobina de encendido perteneciente al cilindro uno a un régimen de 2500 rpm sin fallos, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.14: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm

Variable	Valor
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]
Tensión de inflamación	25.01 [V]
Periodo de Dwell	1.95 [ms]
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]

Datos obtenidos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm sin fallos,

Fuente: Autores

Para el análisis de la incidencia de los fallos producidos sobre los distintos sensores y actuadores resulta necesario además la recopilación de parámetros proporcionados por la ECM, esto es posible gracias al flujo de datos proporcionado por el control electrónico del motor y almacenado por un scanner automotriz, es así que en la Tabla 3.15 se registran las variables más influyentes (PID) en condición de marcha a 2500 [rpm] del motor sin presencia de averías, dichos valores serán útiles para la comparación al contrastar el comportamiento del flujo de datos posterior a la producción de distintos fallos focalizados sobre sensores y actuadores.

Tabla 3.15: Variables de respuesta de mayor relevancia sin fallo a 2500 rpm

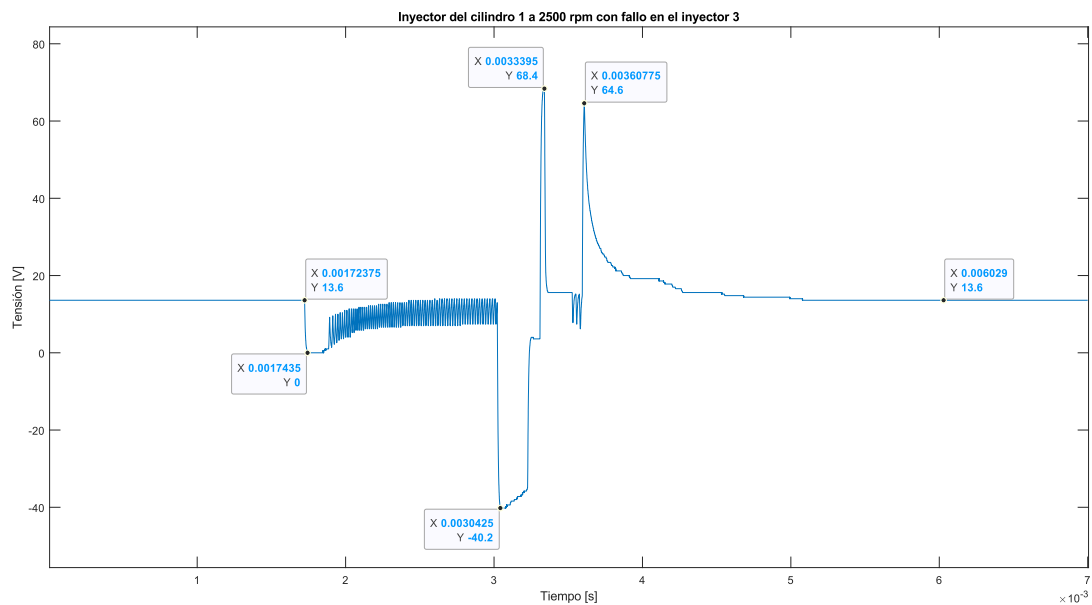
Variables más influyentes (PID)	Valor
Tiempo de inyección	0.50 [V]
Posición del pedal del acelerador (sensor 1)	1.03 [V]
Señal del sensor ECT	0.43 [v]
Posición de la mariposa de aceleración (ángulo 1)	8.13 [°]
Presión del colector de admisión	218.75 [hPa]
Señal del señor MAP	0.87 [V]
Señal del sensor de la temperatura del aire	0.79 [V]
Velocidad actual del motor	2500 [rpm]
Angulo de apertura (regulador de presión de combustible)	3.98 [°]
Presión de combustible	41.59 [Bar]
Sensor de la presión de combustible	1.16 [V]
Estado de la CVVT	ENABLE
Relay del ventilador de refrigeración (alta)	OFF
Estado de la luz de check o MIL	OFF

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor en condiciones de 2500 rpm sin fallos, **Fuente:** Autores

3.4.2. Fallo en inyectores

La Figura 3.11 muestra el oscilograma del inyector a 2500 rpm al producir un fallo sobre otro inyector del sistema GDI del motor, a partir del oscilograma se obtuvo los valores de la Tabla 3.16 donde también se exponen los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia que existe al contrastar los datos en ambas condiciones de funcionamiento.

Figura 3.11: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en otro de los inyectores



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo sobre el inyector del cilindro tres, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.16: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con fallo producido en inyectores

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.57 [ms]	14 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.27 [ms]	35 %

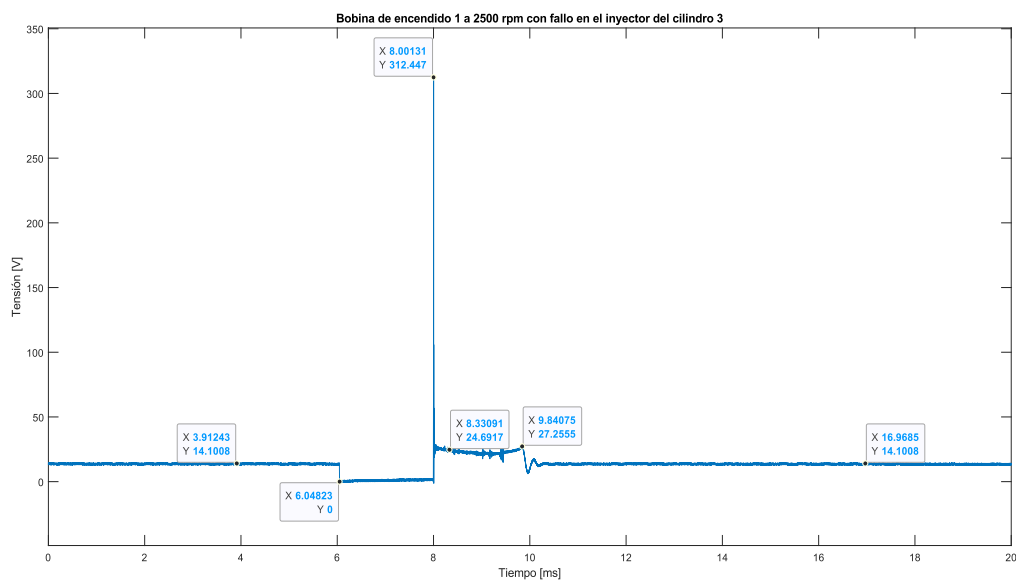
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	- 40.2 [V]	-1.95 %

Datos obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm con fallo en otro inyector del sistema GDI, **Fuente:** Autores

Como se puede apreciar en la Tabla 3.16 al fallar uno de los inyectores se tiene un incremento del 35% en el tiempo que el inyector permanece abierto y del 14% en el tiempo de apertura del inyector, esto se traduce en un mayor consumo de combustible y producción de emisiones contaminantes debido a la combustión incompleta que se está realizando debido al incremento del combustible que ingresa al cilindro dando como resultado una mezcla rica.

En la Figura 3.12 se encuentra el oscilograma de la bobina de encendido con régimen de 2500 rpm al producir un fallo sobre un inyector del sistema de inyección GDI del motor, a partir del oscilograma se obtuvo los valores representativos expuestos en la Tabla 3.17 donde también se muestran los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia que existe entre ambos.

Figura 3.12: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en inyector



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo el inyector del cilindro tres, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.17: Valores característicos del oscilograma de la bobina a 2500 rpm con fallo producido en inyector

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	312.45 [V]	-0.51 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	24.69 [V]	-1.28 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.95 [ms]	0 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.84 [ms]	26.90 %

Datos obtenidos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm con fallo sobre inyector del sistema GDI, **Fuente:** Autores

Al producirse un fallo sobre un inyector la duración de la chispa incrementa un 26.9% como se indica en la Tabla 3.17, dicho incremento se debe principalmente a la inestabilidad en el régimen de giro del motor el cual disminuye las revoluciones levemente permitiendo con ello que el tiempo de quemado sea mayor, el incremento también se debe a que al inyectar mayor cantidad de combustible se requiere de la aportación de chispa por más tiempo para tratar de combustionar la mezcla por completo.

En el flujo de datos a un régimen de giro de 2500 rpm en la Tabla 3.18 las variables de mayor influencia que se presenta al momento de producir un fallo en uno de los inyectores, dándose a notar de manera auditiva un calado del motor, como de manera visual en el tablero de instrumentos un decrecimiento de alrededor 250 rpm, disminuyendo la potencia del motor. En una etapa inicial sin fallos tenemos un tiempo menor de inyección, mientras que producto de la falla se incrementa un 14% el pulso de inyección, pero se marca aun así la pérdida de potencia del motor.

En el scanner se puede notar dos códigos de avería, mientras en el tablero de instrumentos no se tiene encendida la luz mil.

Tabla 3.18: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del inyector

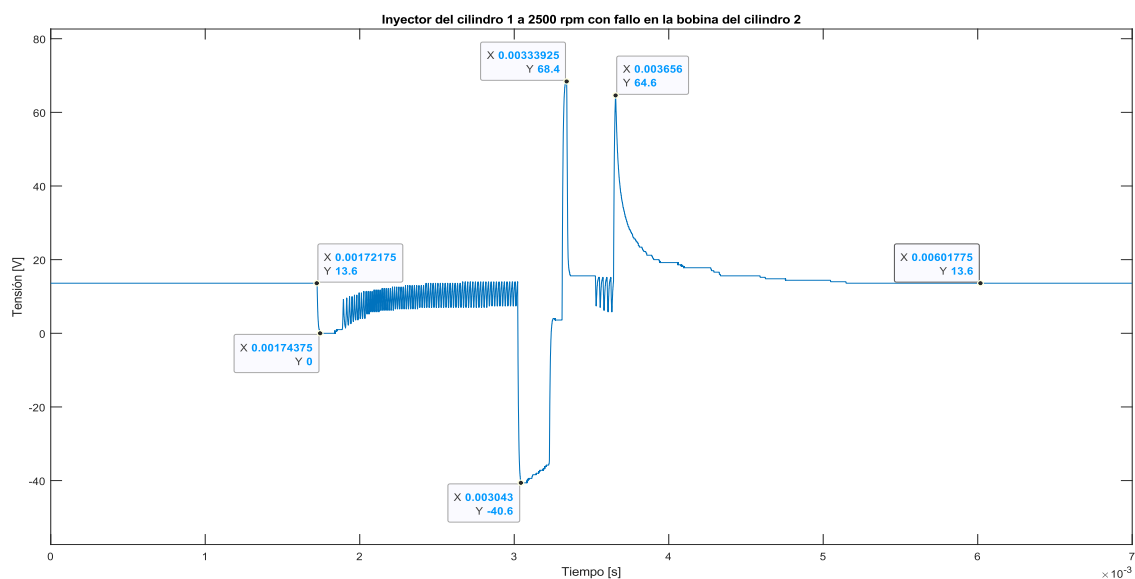
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.57 [ms]	14 %
Posición de la mariposa de aceleración ángulo 1	8.13 [°]	8.44 [°]	3.81 %
Presión del colector de admisión	218.75 [hPa]	249.02 [hPa]	13.84 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Código de fallos	P0203, P0203		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor a 2500 rpm al producir un fallo en un inyector GDI, **Fuente:** Autores

3.4.3. Fallo producido en bobina de encendido

A partir del oscilograma que describe un inyector a un régimen de 2500 rpm al provocar una avería sobre una bobina del sistema de encendido (Figura 3.13) se obtuvo los valores expuestos en la Tabla 3.19, donde adicionalmente se contrasta los valores resultantes de la avería con aquellos que caracterizan a un o funcionamiento normal (sin averías) con la finalidad de identificar la influencia del fallo en el control del funcionamiento del inyector.

Figura 3.13: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en una bobina



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo sobre la bobina de encendido del segundo cilindro, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.19: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con fallo en bobina de encendido

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.61 [ms]	22 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.32 [ms]	60 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	-41 [V]	-40.6 [V]	-0.98 %

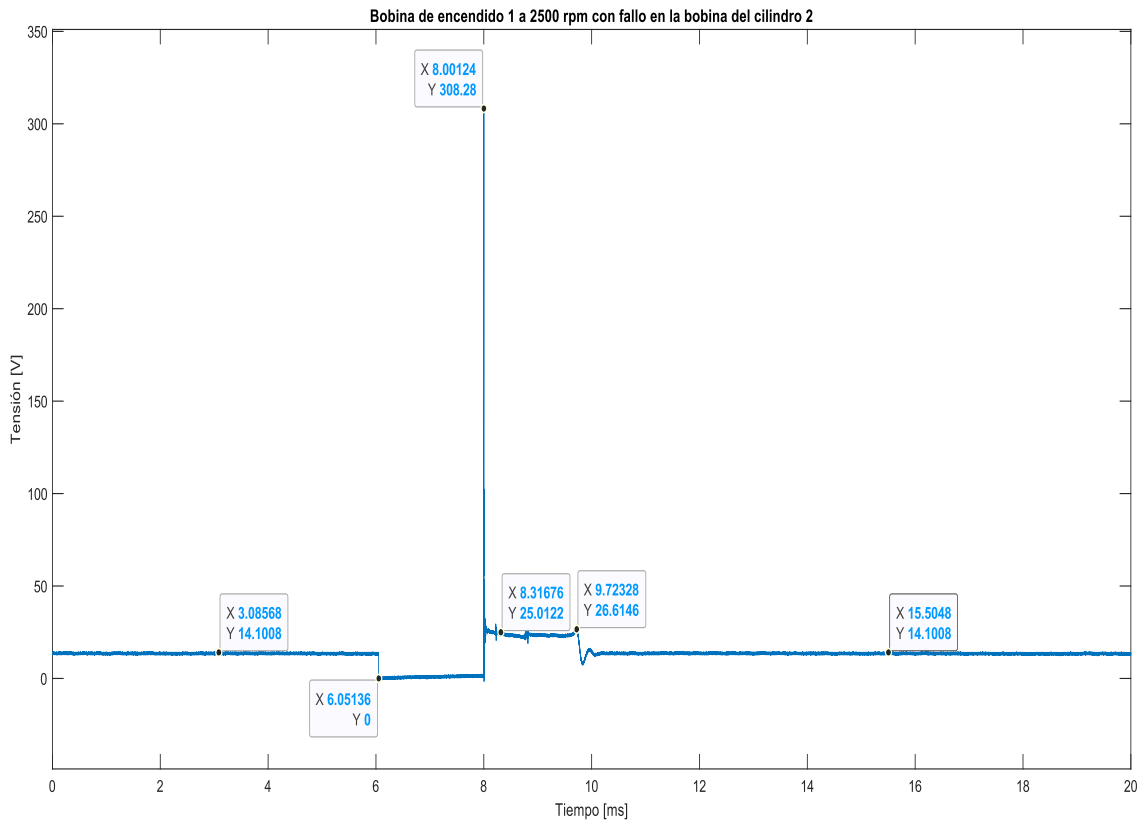
Valores extraídos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir fallo en una bobina de encendido, **Fuente:** Autores

La Tabla 3.19 muestra que la variable que sufre mayor influencia al producir un fallo sobre una de las bobinas de encendido es el tiempo en que el inyector permanece abierto pues este

se incrementa en un 60% elevado con ello el consumo de combustible, esto incremento se encuentra directamente ligado también con el aumento en un 22% del tiempo total de apertura del inyector.

El oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm al producir un fallo sobre otra bobina de encendido del sistema COP se expone en la Figura 3.14, este oscilograma permite obtener valores representativos del funcionamiento de la bobina bajo el fallo producido los cuales se incluyen en la Tabla 3.20 en la que además se muestran los valores sin fallo y el porcentaje de diferencia existente entre ambos.

Figura 3.14: Oscilograma de bobina de encendido a 2500 rpm con fallo sobre otra bobina



Forma de onda de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en la bobina del segundo cilindro, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.20: Valores característicos del oscilograma de la bobina a 2500 con fallo sobre otra bobina de encendido

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	308.28 [V]	-1.84 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	25.01[V]	0 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.95 [ms]	0 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.72 [ms]	18.62 %

Datos obtenidos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm con fallo producido sobre la bobina del cilindro dos, **Fuente:** Autores

La Tabla 3.20 evidencia que, en presencia de una anomalía en el rendimiento de una bobina de encendido, la duración de la chispa en las demás bobinas alcanza un incremento del 18.97% con respecto a una situación de operación sin fallos. Este fenómeno se atribuye al aumento de combustible que ingresa al cilindro, ya que se requiere una contribución de calor suficiente para lograr la combustión del combustible adicional inyectado.

Los valores del flujo de datos que se muestran en la Tabla 3.21, demuestran las variables de mayor importancia que se ven influenciadas al momento de producir fallo en la bobina de encendido. De manera visual el motor inicia a calar de manera que va perdiendo potencia, mientras que de manera visual en el tablero de instrumentos se observa que existe un decrecimiento de las revoluciones por minuto pasando de 2500 rpm a 2250 rpm. De manera olfativa se tiene un olor fuerte a combustible producto de la desconexión de una bobina de encendido. A pesar del aumento en el tiempo de inyección en un 22% la potencia del motor decrece.

El flujo de datos dado por el scanner no exhibe un código de avería y de manera visual para el conductor no se muestra la luz MIL.

Tabla 3.21: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo de la bobina de encendido

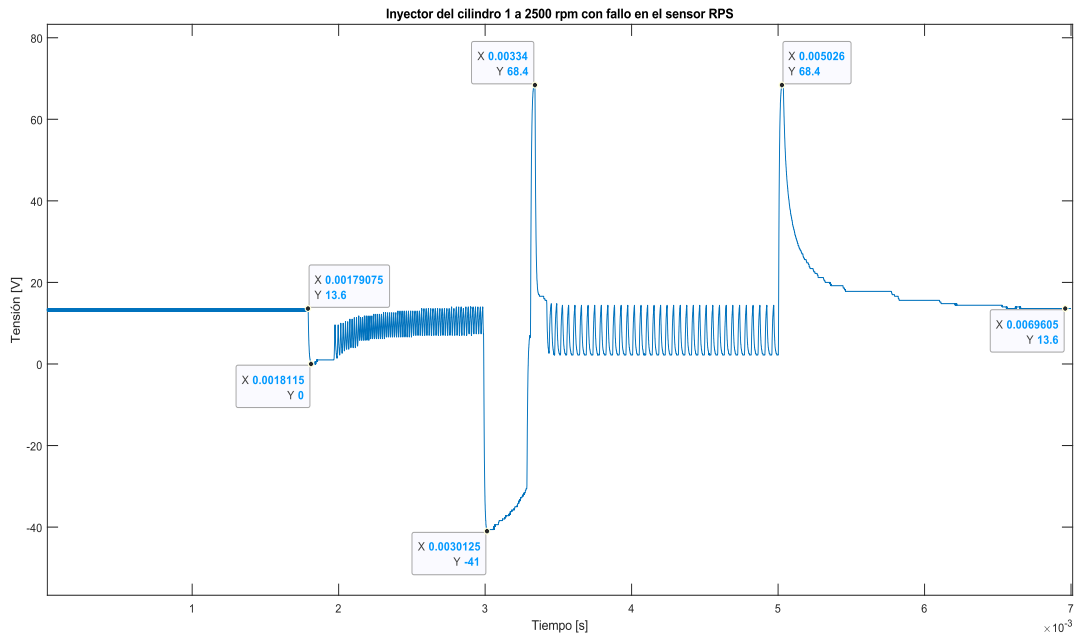
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.50 [ms]	0.61 [ms]	22 %
Posición de la mariposa de aceleración ángulo 1	8.13 [°]	8.33 [°]	2.46 %
Presión del colector de admisión	218.75 [hPa]	244.61 [hPa]	11.82 %
Sensor de la presión de combustible	1.16 [V]	1.19 [V]	2.59 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor a 2500 rpm al producir un fallo en bobina de encendido GDI, **Fuente:** Autores

3.4.4. Fallo en sensor de presión del riel de combustible (RPS)

La Figura 3.15 expone el oscilograma de un inyector a 2500 rpm de giro del motor al generar un fallo en el sensor RPS, a partir de este oscilograma se obtuvo los valores sintetizados en la Tabla 3.22 donde también encuentra el porcentaje de diferencia que existe al contrastar los datos en condiciones de funcionamiento del inyector, sin generación del fallo y posterior a la generación del fallo en el RPS.

Figura 3.15: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con avería en el sensor RPS



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo sobre el sensor RPS, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.22: Valores característicos del oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo producido en RPS

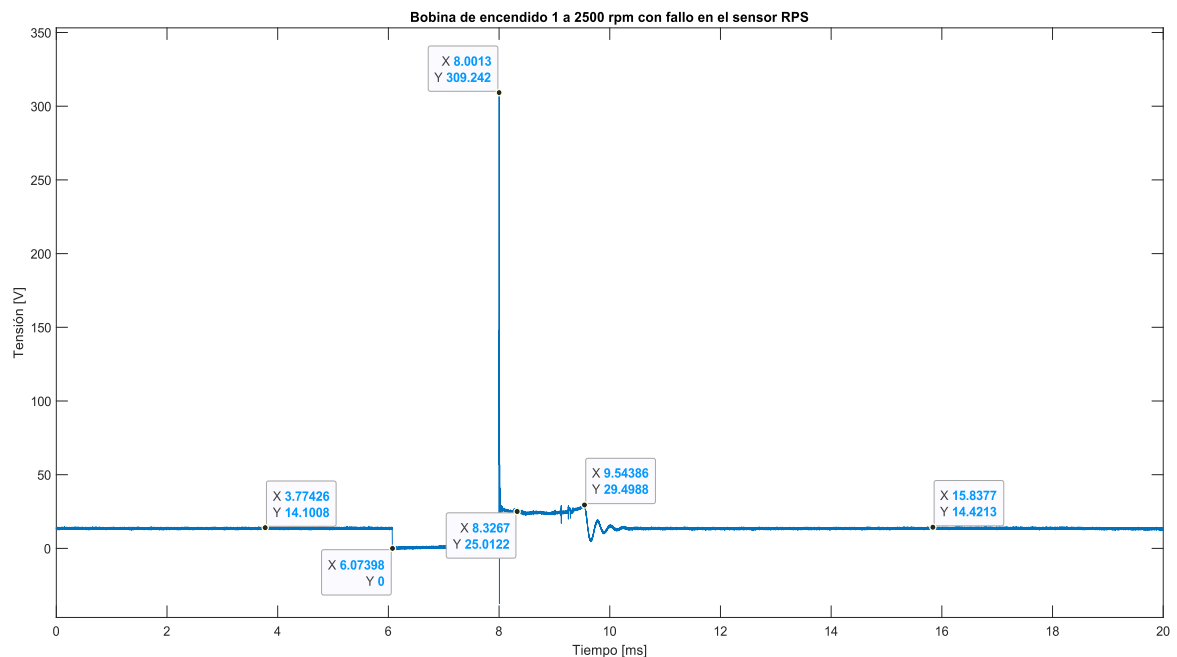
Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	2.01 [ms]	302 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	1.69 [ms]	745 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	- 41 [V]	0 %

Datos obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir fallo en el sensor RPS, **Fuente:** Autores

Los valores de la Tabla 3.22 muestran que al producirse un fallo en el sensor de presión de combustible el tiempo que el inyector permanece abierto sufre un incremento excesivo de 745% con relación al tiempo que el inyector se encuentra abierto suministrando combustible en condiciones de operación a 2500 rpm sin averías, esto incremento también incide sobre el tiempo de apertura del inyector el cual sufre un porcentaje de cambio del 302%, estas afectaciones en el funcionamiento del inyector se traducen en un incremento exponencial del consumo de combustible y de producción de emisiones ya que la mezcla aire combustible que ingresa al cilindro se vuelve extremadamente rica reduciendo con ello la eficiencia de la combustión

En la Figura 3.16 se muestra el oscilograma descrito por la bobina de encendido a un régimen de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor de presión del riel (RPS), el oscilograma permite obtener valores característicos del funcionamiento de la bobina posterior a la generación de la avería, estos valores se encuentran en la Tabla 3.23.

Figura 3.16: Oscilograma de bobina de encendido a 2500 rpm con avería en el sensor RPS



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en el sensor de presión del riel RPS, **Fuente:** Autores.

Tabla 3.23: Valores característicos del oscilograma de la bobina a 2500 rpm con fallo en el sensor RPS

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	309.24 [V]	-1.53 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	25.01 [V]	0 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.93 [ms]	-1.03 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.54 [ms]	6.21 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en el sensor de presión del riel de combustible RPS, **Fuente:** Autores

Al producirse una avería en el funcionamiento del sensor RPS a 2500 rpm el comportamiento de la bobina de encendido no se ve afectado pues como se muestra en la Tabla 3.23 la diferencia más grande la experimenta el tiempo de duración de chispa incrementándose en un 6.21% reflejando que el fallo a este régimen de trabajo del motor no posee una gran incidencia sobre control del encendido por parte de la ECM.

En la Tabla 3.24 se desarrolla el fallo en el sensor de presión del riel de combustible, por lo cual el sentido auditivo se ve involucrado por la pérdida del sonido característico de la bomba de alta presión de combustible, como consecuencia también desata en el aumento de apertura del inyector en un 302% de incrementado en el consumo de combustible por la ausencia del censado de la presión de combustible en el riel. Como consecuencia de la producción del fallo el motor se apaga de manera súbita, posterior aun con el fallo el vehículo enciende sin dificultad. En el análisis de datos también se observa que la presión del combustible decrece de manera elevada por el motivo que el ángulo de la apertura del regulador de la presión de combustible se anula.

En el scanner aparece un código de fallo sin encender la luz MIL.

Tabla 3.24: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor RPS

Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.50 [ms]	2.01 [ms]	302 %
Angulo de apertura (regulador de presión de combustible)	3.98 [°]	0 [°]	-100 %
Presión del combustible	41.59 [Bar]	5.0042 [Bar]	-87.97 %
Sensor de la presión de combustible	1.16 [V]	4.80 [V]	313.79 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Código de fallos	P0193		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor a 2500 rpm al producir un fallo en RPS, **Fuente:** Autores.

En la sección de ANEXOS se encuentra el análisis realizado sobre los sensores CKP, TPS, MAP, IAT, ECT y APP tanto en condiciones de marcha mínima como a un régimen de giro de 2500 rpm, tal como se lo detallo a lo largo de este capítulo. Se tomó en cuenta los sensores mencionados debido a que son aquellos que producen un mayor porcentaje de cambio sobre el comportamiento del inyector, bobina de encendido y parámetros de gestión electrónica del motor (PID's).

CONCLUSIONES

- El proceso de pruebas y los datos recopilados corroboran que la implementación del proyecto sobre el banco Yes01 3111 fue exitosa ya que ahora este permite la generación de fallos de manera focalizada sobre los sensores y actuadores del control electrónico del motor, conforme las necesidades del estudio que se desee realizar.
- La elaboración de los nuevos diagramas de conexión pertenecientes a los sensores y actuadores del motor G4KJ proporciona una guía útil para la realización de prácticas de formación técnica de los estudiantes de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito campus sur, además, son una herramienta necesaria para el mantenimiento y futuras reparaciones.
- A partir del análisis de datos es posible afirmar que los elementos de gestión electrónica que poseen una mayor incidencia sobre el funcionamiento del motor al presentar una avería son: Inyectores, Bobinas de encendido, Sensor de presión del riel de combustible (RPS), sensores MAP e IAT, sensor TPS y sensor APP, los tres últimos especialmente cuando el motor trabaja bajo un régimen de 2500 RPM.
- Con base al análisis efectuado se nota que, al producir una avería sobre sensores o actuadores, el tiempo que el inyector permanece abierto tiende a incrementarse dando como resultado un mayor consumo de combustible.

RECOMENDACIONES

- Se aconseja como una segunda fase complementaria al proyecto realizado, la elaboración de una interfaz que se enlace con la ECM del motor G4KJ mediante el puerto OBD II y sea capaz de adquirir y almacenar todos los PID's proporcionados por el flujo de datos del motor en intervalos de tiempo de 0.2 milisegundos, puesto que en la actualidad el scanner con el que cuenta la carrera permite una lectura de datos en un extenso periodo de tiempo, generando así una disminución en la precisión de los resultados obtenidos durante la ejecución de investigaciones.
- Se recomienda hacer uso de este escrito para la ejecución de prácticas pedagógicas en el banco motor ya que presenta información clara y detallada de los diagramas de conexión y valores de tensión referencial que sirvan como guía para constatar los resultados obtenidos por los estudiantes al realizar la práctica.
- Una de las recomendaciones más importantes posterior a la implementación del proyecto es hacer uso de los diagramas detallados en el Capítulo 2 del presente trabajo para futuros mantenimientos y reparaciones del sistema de gestión electrónica, pues el arnés de conexión del motor G4KJ dispuesto en el banco Yes01 3111 ha sido modificado, haciendo necesario el uso de los nuevos diagramas eléctricos para el diagnóstico de averías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alonso, P. J. M. (2014). *Sistemas auxiliares del motor*. Ediciones Paraninfo, S.A.
<https://books.google.com.ec/books?id=5hpfAwAAQBAJ>
- Alvite, J., & Revilla, R. (2023). *Sistemas auxiliares del motor - Novedad 2023*. Editorial Editex. <https://books.google.com.ec/books?id=hrXHEAAAQBAJ>
- Automotive Data. (2012). *AUTO-DATA.Net*. 2011 Hyundai Grandeur/Azera V (HG) 2.4 GDi (201 CV) Automatic. <https://www.auto-data.net/es/hyundai-grandeur-azera-v-hg-2.4-gdi-201hp-automatic-30710>
- AutoZone. (2013). *ALLDATA* (10.52SS.1000).
- Baldeón, G., Reinoso, K., Abad, J., Sandoval Roosevelt, Andrade, J., Baquero Amanda, & Corella Melany. (2023). *Anuario-AEAE 2022*. www.aeade.net
- Barbecho, C. (2022). *Estudio de las necesidades de formación continua en los talleres automotrices artesanales en la ciudad de Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Blumberg, K. O., Walsh, M. P., & Pera, C. (2016). Gasolina y Diesel de bajo azufre: La clave para disminuir las emisiones vehiculares. *Ingeniería y Desarrollo*, 34(2), 397–419.
- Bosch. (2018). *Sensores de Oxígeno*. 2–7. www.boschautopartes.mx
- Cadme, L., & Cornejo, E. (2022). *Diseño de una plataforma online para el aprendizaje del sistema de inyección directa a gasolina GDI*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Chafuel Albaro Jhojan. (2022). *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*. Universidad Técnica del Norte.
- Erazo, G., Mayorga, F., & Núñez, M. (2015). Diagnosis and Maintenance Systems Injectors Gasoline Direct Injection GDI. *Profesionales Independientes*, 9, 37–45.

- Llivicura Ávila John, E., & Lupercio Jimbo Edgar, G. (2014). *Diseño y Construcción de un equipo para diagnóstico de sensores, actuadores y ECU's automotrices para vehículos KIA y HYUNDAI* [2014]. Universidad del Azuay.
- Luis, J., Masache, U., Fabian, A., & Vicuña, V. (2018). *Evaluación del consumo de combustible en vehículos, utilizando diferentes estrategias cambios de marcha.*
- Moreno Bustos Vannesa, L., Vargas Pachón Felipe, C., & Ruiz Sánchez Sergio. (2015). *Comparación de la ECU en la camioneta Duster 1.6 L y 2.0 L.* <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1962/Informe%20de%20seminario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Narvárez Moreno José, J., & Narvárez Clerque Ismael, J. (2019). *Análisis de los sistemas eléctricos y electrónicos de un motor de combustión interna mediante la utilización del osciloscopio automotriz Bosch FSA – 500.* <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9007/1/04%20MAUT%20085%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Nogués, F. (2010). *Energía de la biomasa II (Energías renovables)* (A. Rezeau & D. García, Eds.; Vol. 2). Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Payri González, Francisco., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos.* Editorial Reverté.
- Pérez Belló, M. A. (2011). *Sistemas auxiliares del motor.* Ediciones Paraninfo, S.A. https://books.google.com.ec/books?id=5UXAe__MHLQC
- Rivera, N., Chica, J., Zambrano Iván, & García Christian. (2017). Study of the behavior of an Otto engine of electronic injection in relation to the stoichiometry of the mixture and the advance to the ignition for Cuenca city. *Revista Politécnica*, 40(1), 1–9.
- Rodríguez Melchor, J. C. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (MF0133_2).* IC Editorial. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/42614>
- SICAA, S. I. de capacitación y asesoría automotriz. (2019, June 17). *Bobinas, Análisis del Circuito Primario.* E-Auto.Com. <https://www.e->

auto.com.mx/enew/index.php?view=article&id=7177-bobinas-analisis-del-circuito-primario

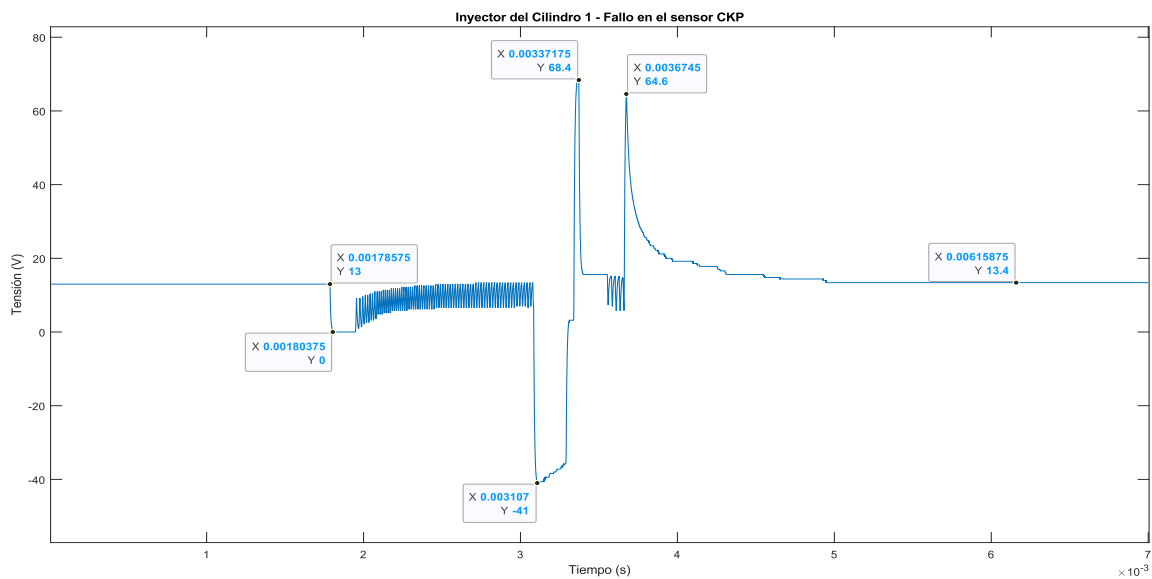
TiePie, engineering. (2019, April 5). *Measuring direct petrol injector voltage and current*. TiePie Automotive. <https://www.tiepie-automotive.com/en/articles/direct-petrol-injection-voltage-current>

ANEXOS.

Anexo 1. Fallo en sensor de posición del cigüeñal CKP en ralentí

La Figura A1.1 muestra el oscilograma descrito por el inyector al producir un fallo sobre el sensor de posición del cigüeñal CKP; a partir del oscilograma se obtuvo los valores registrados en la Tabla A1.1 donde además se contrasta los valores en condiciones sin fallo y con fallo para establecer la diferencia porcentual existente entre estos.

Figura A1.1: Oscilograma de Inyector en marcha mínima con avería en el sensor CKP



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de ralentí al producir una avería en el sensor CKP, **Fuente:** Autores.

Tabla A1.1: Valores característicos del oscilograma del Inyector en ralentí con fallo en CKP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0,52 [ms]	0,57 [ms]	9,62%

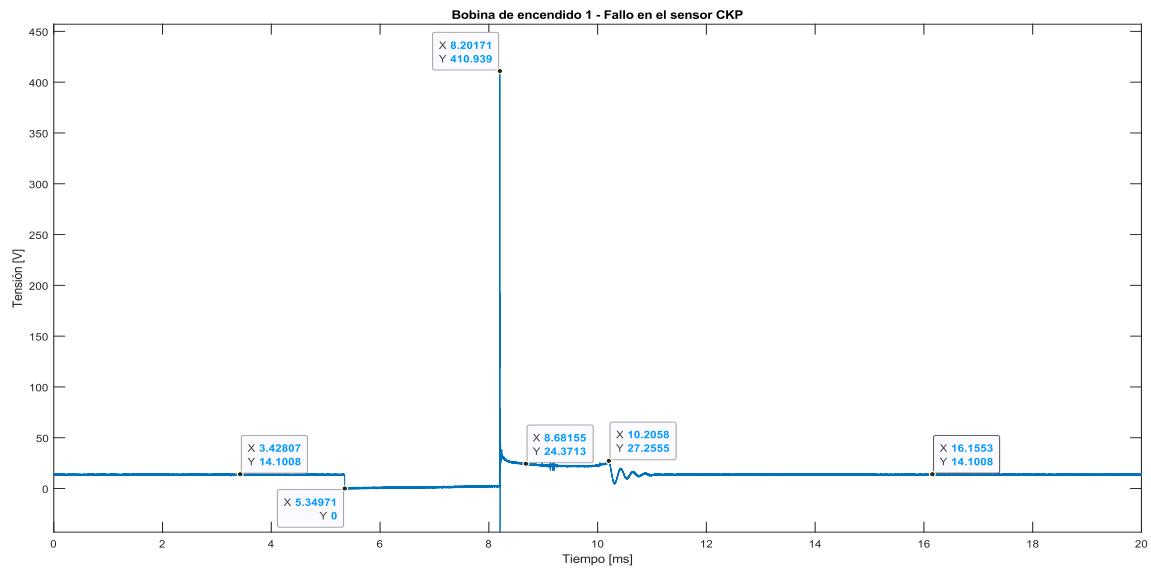
Tiempo que el inyector permanece abierto	0,22 [ms]	0,3 [ms]	36,36 %
Pico máximo de tensión	68,4 [V]	68,4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40,2 [V]	- 41 [V]	2 %

Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al generar un fallo en el sensor CKP, **Fuente:** Autores.

Al producirse un fallo en el sensor CKP se muestra que el tiempo que el inyector permanece abierto sufre un incremento de 36,36% (ver Tabla A1.1) debido a que la ECM no conoce con exactitud la posición del cigüeñal y con ello la fase de trabajo de cada uno de los cilindros modificando la sincronización y el tiempo de inyección, esto ocasiona una reducción en la autonomía debido al incremento de consumo de combustible.

En la Figura A1.2 se exhibe el oscilograma correspondiente a la señal generada por la bobina de encendido durante condiciones de ralentí, bajo un mal funcionamiento en el sensor CKP. Este oscilograma proporciona datos distintivos sobre el rendimiento de la bobina después de la ocurrencia de la falla. Dichos datos se detallan en la Tabla A1.2, que también incluye el porcentaje de disparidad entre los valores anteriores al fallo y los valores posteriores a la manifestación de la falla.

Figura A1.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor CKP



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor de posición del cigüeñal CKP, **Fuente:** Autores.

Tabla A1.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí al producir fallo en el sensor CKP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410,94 [V]	0.08 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.37 [V]	0 %
Periodo de Dwell	3.02 [ms]	2.85 [ms]	5.63 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [ms]	2 [ms]	14,94 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de ralentí al generar un fallo en el sensor de posición del cigüeñal CKP, **Fuente:** Autores

Una anomalía en el funcionamiento del sensor CKP ocasiona un incremento del 14.94% de la duración de la chispa y reduce el periodo de saturación o Dwell en un porcentaje mínimo del 5.63%, estas alteraciones se deben a la deficiente sincronización del motor a causa de la ausencia del sensor de posición del cigüeñal el cual es de vital importancia para el control electrónico del motor tanto que en ciertos vehículos al fallar este el motor no arranca sin embargo la gestión del motor G4KJ de Hyundai hace uso de los sensores CMP de admisión y de escape para tener una idea de los tiempos de sincronización y encender el motor.

Con la producción del fallo el flujo de datos se ve alterado anotando las variables más considerables descritas en la Tabla A1.3 al ocasionar el fallo en el sensor de posición de cigüeñal de apaga el motor de manera súbita, al intentar prender el motor este enciende con gran dificultad de manera que se tarda tiempo excesivo para poder arrancar dando un código de avería y sin encender la luz MIL, de igual manera se pierde la lectura en el tacómetro de las revoluciones del motor.

Tabla A1.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor CKP

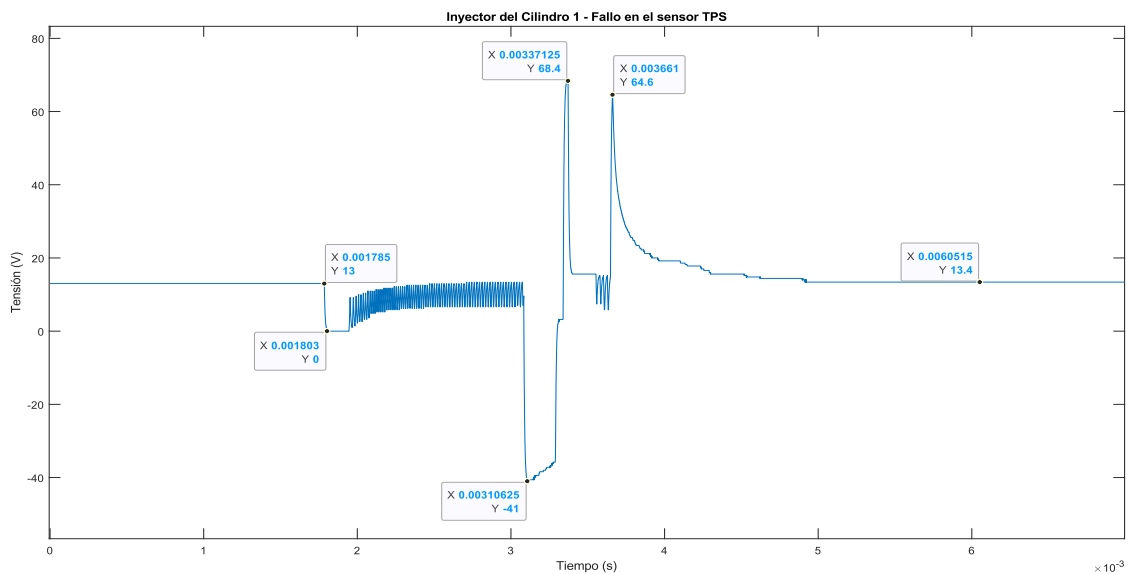
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.57 [ms]	9.62 %
Porcentaje de adaptación de combustible	6.33 [%]	3.33 [%]	-47.39 %
Estado de la CVVT	ENABLE		Limp-Home
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Código de fallos	P0335		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en bobina de encendido GDI, **Fuente:** Autores

Anexo 2. Fallo en sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS en ralentí

En la Figura A2.1 se presenta el oscilograma de la operación del inyector en presencia de una anomalía en el sensor TPS. A partir de este oscilograma, se han extraído los datos consignados en la Tabla A2.1, la cual compara los valores en situaciones normales y con fallo, destacando el porcentaje de diferencia entre ambos datos.

Figura A2.1: Oscilograma de inyector en marcha mínima con fallo en el sensor TPS



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de ralentí al producir una avería en el sensor TPS, **Fuente:** Autores.

Tabla A2.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en TPS

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0,52 [ms]	0,55 [ms]	5,77%
Tiempo que el inyector permanece abierto	0,22 [ms]	0,29 [ms]	31,81%

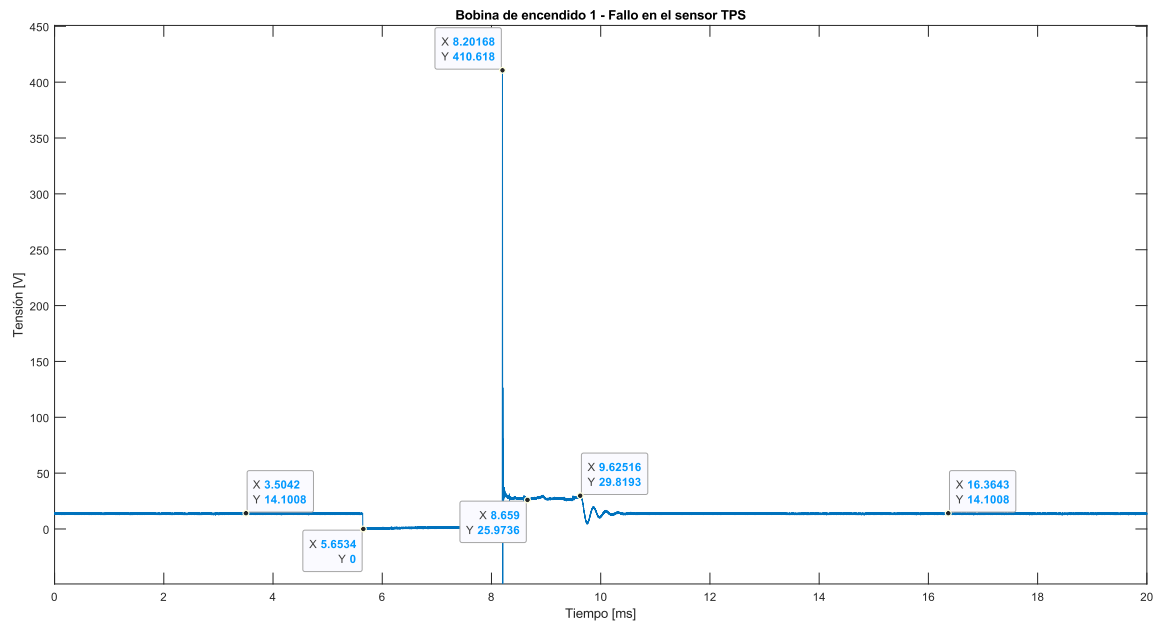
Pico máximo de tensión	68,4 [V]	68,4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40,2 [V]	- 41 [V]	-2 %

Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al generar un fallo en el sensor TPS, **Fuente:** Autores.

Una avería en el sensor TPS ocasiona un incremento del 31,81% en el tiempo en el cual el inyector permanece abierto suministrando combustible al interior del cilindro en marcha mínima (ver Tabla A2.1), este aumento a pesar de no ser tan cuantioso resulta significativo pues se traduce en un mayor consumo de combustible, por otra parte es posible corroborar que el sensor TPS posee una leve influencia sobre la gestión electrónica del funcionamiento del inyector, pues, el tiempo de apertura del inyector sufrió únicamente un incremento del 5,77% con relación a un funcionamiento normal sin averías (ver Tabla A2.1).

La Figura A2.2 presenta el oscilograma relativo a la señal emitida por la bobina de encendido en situaciones de ralentí, en presencia de una anomalía en el sensor TPS. Este oscilograma aporta información distintiva acerca del desempeño de la bobina luego de la ocurrencia de la anomalía. Los detalles de estos datos se encuentran en la Tabla A2.2, la cual también incorpora el porcentaje de discrepancia entre los valores previos a la falla y aquellos posteriores a la manifestación del problema.

Figura A2.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor TPS



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor TPS, **Fuente:** Autores.

Tabla A2.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en el sensor TPS

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.62 [V]	0.16 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	25.97 [V]	6.57 %
Periodo de Dwell	3.02 [V]	2.55 [ms]	15.56 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [V]	1.42 [ms]	18.39 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de ralentí al generar un fallo sobre el sensor TPS, **Fuente:** Autores

Al fallar el sensor TPS se reduce la duración de la chispa en un 18.39% y el periodo de Dwell en un 15.53% tal como se muestra en la Tabla A2.2, esto sucede ya que el motor sufre un incremento en su velocidad de giro ocasionando que sus ciclos de trabajo se efectúen en una cantidad de tiempo menor, dando como resultado que el tiempo de inflamación en la fase de combustión se reduzca y que el tiempo para cargar el devanado primario sea menor.

El flujo de datos de la prueba con el fallo en el sensor TPS modifica los valores tipos del scanner y se anota en la Tabla A2.3 al realizar la comparativa entre los datos en buen estado sin antes producir el fallo se tiene como resultado, una vez producido el fallo de inmediato se enciende la luz mil, desciende las revoluciones repentinamente en un corto tiempo, nos limita la potencia del motor, de manera que el pedal del acelerador o sobre pasan las 1500 revoluciones por minuto, el ralentí se ve modificado y se incrementa ligeramente por alrededor de las 1250 revoluciones por minuto.

Tabla A2.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor TPS

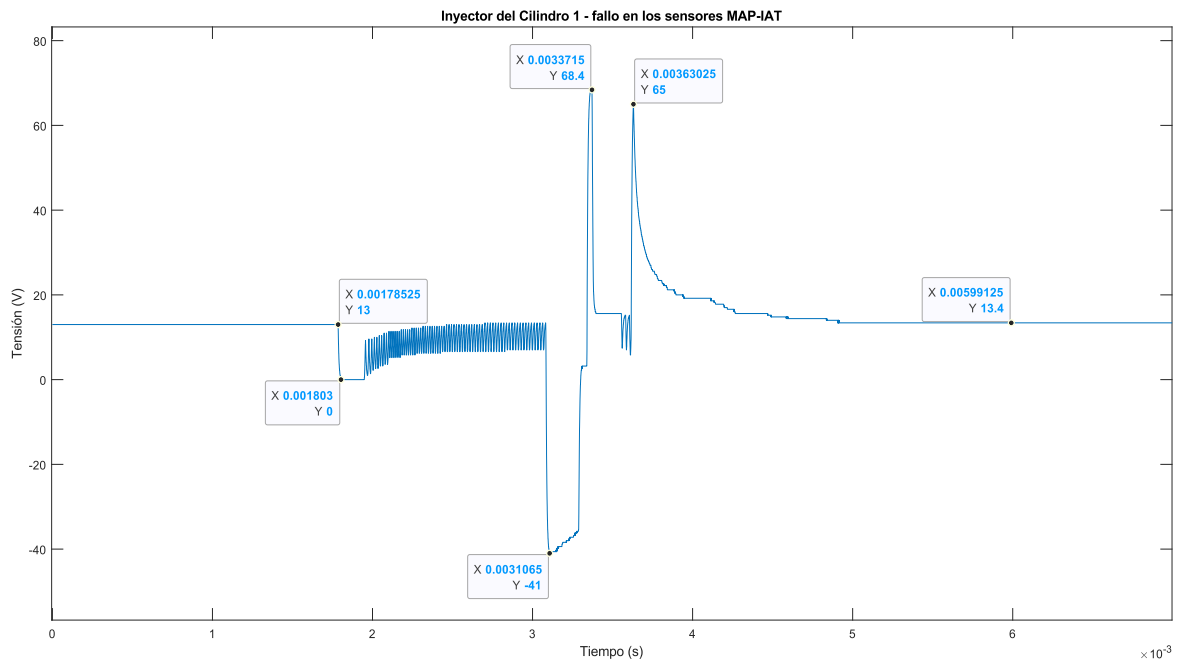
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.55 [ms]	5.77 %
Velocidad actual del motor	625 [rpm]	1250 [rpm]	100 %
Posición de la mariposa de aceleración (ángulo 1)	1.96 [°]	12.14 [°]	519.39%
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P0121, P2106, P0638, P2135		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor TPS, **Fuente:** Autores

Anexo 3. Fallo en sensores MAP e IAT en ralentí

La Figura A3.1 se exhibe el oscilograma que ilustra la operación del inyector ante la detección de una irregularidad en los sensores de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAP) y Temperatura del Aire de Admisión (IAT). A partir de dicho oscilograma, se han recopilado los datos reflejados en la Tabla A3.1, la cual contrasta los valores correspondientes a condiciones normales y situaciones con fallo.

Figura A3.1: Oscilograma de inyector en ralentí con fallo en los sensores MAP e IAT



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de ralentí al producir una avería en los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores.

Tabla A3.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en MAP e IAT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]	0.52 [ms]	0 %

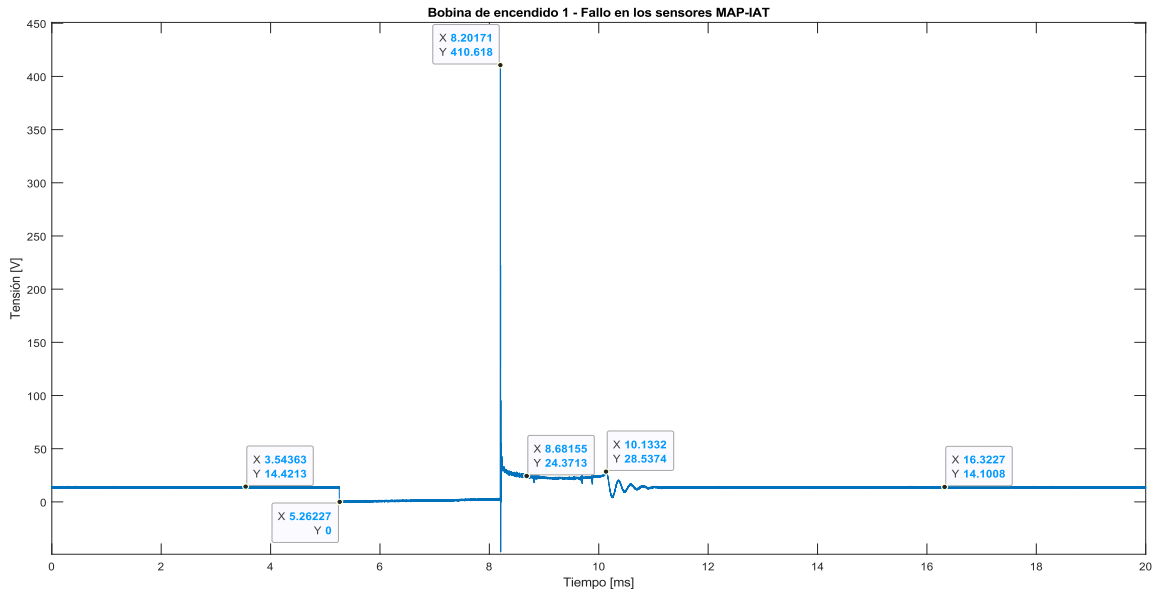
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]	0.26 [ms]	18.18 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40.2 [V]	- 41 [V]	-2 %

Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al generar un fallo en los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores.

Al producirse una anomalía en el funcionamiento de los sensores MAP e IAT gracias a los valores de la Tabla A3.1 es posible corroborar que el comportamiento del inyector es modificado, incrementando en un 18.18% el tiempo en que este permanece abierto, sin embargo, este fallo no representa una incidencia crítica en el control del funcionamiento del inyector ya que el porcentaje de cambio con respecto a sus valores de funcionamiento sin avería son muy similares.

La representación gráfica del comportamiento de la bobina de encendido durante el régimen de marcha mínima en presencia de una avería en los sensores de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAP) y Temperatura del Aire de Admisión (IAT) se presenta en la Figura A3.2. Este oscilograma proporciona datos significativos acerca del desempeño de la bobina durante el fallo mencionado, mismos que se detallan en la Tabla A3.2. Esta tabla compara los valores asociados con y sin fallo, resaltando el porcentaje de disparidad entre ambas condiciones.

Figura A3.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre los sensores MAP e IAT



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores.

Tabla A3.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en los sensores MAP e IAT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.62 [V]	0.16 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.37 [V]	0 %
Periodo de Dwell	3.02 [V]	2.94 [ms]	2.65 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [V]	1.93 [ms]	10.92 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de ralentí al generar un fallo sobre los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores

La Tabla A3.2 muestra que en condiciones de fallo en los sensores MAP e IAT el comportamiento de la bobina de encendido sufre muy leves alteraciones siendo la más relevante el incremento del tiempo de quemado en un 10.92%, pues, debido a que la ECM no conoce la cantidad de aire que ingresa por la admisión no le es posible ajustar con exactitud el tiempo de encendido.

La comparación del flujo de datos sin fallo con comparativa produciendo el fallo en los sensores MAP e IAT se redactan en la Tabla A3.3 al modificar los parámetros produciendo un fallo en el sensor MAP el cual se encuentra incorporado junto con el sensor IAT los cuales miden presión en el múltiple de admisión y temperatura del aire respectivamente. No se observa fallo significativo, el motor puede acelerar de manera normal, pero como señal de una falla se enciende la luz MIL y en el escáner se muestran dos códigos de avería.

Tabla A3.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor MAP e IAT

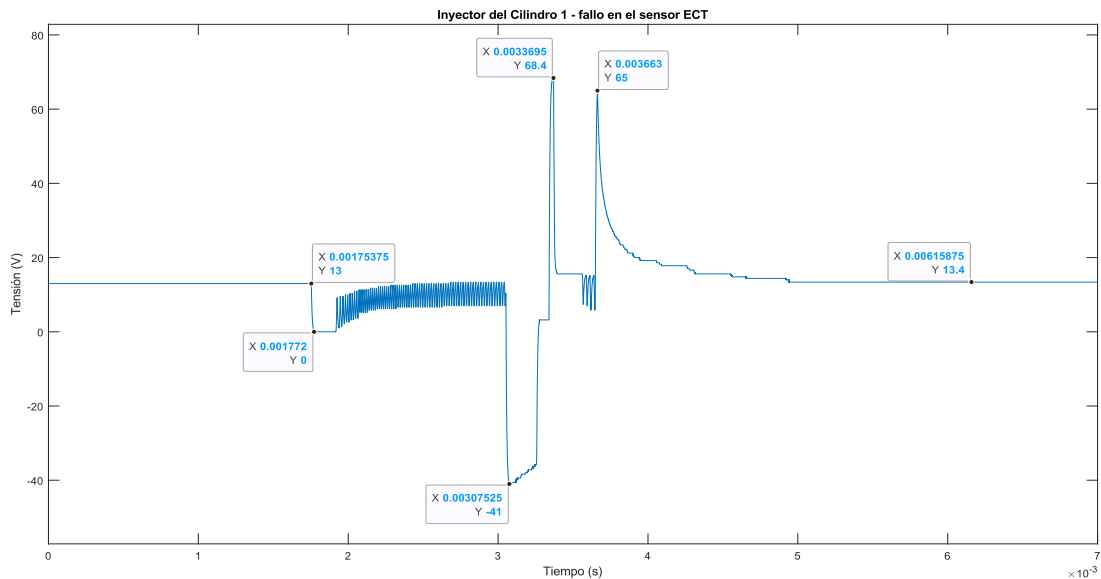
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.52 [ms]	0 %
Señal del sensor de la temperatura del aire	1.18 [V]	5 [V]	323.73 %
Presión del colector de admisión	247.93 [hPa]	100 [hPa]	-59.67 %
Señal del sensor MAP	1.02 [V]	0.0100 [V]	-99.02%
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P0107, P0113		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor MAP e IAT, **Fuente:** Autores

Anexo 4. Fallo en sensor ECT en ralentí

Utilizando el oscilograma que ilustra el comportamiento de un inyector al inducir un fallo en el sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT) expuesto en la Figura A4.1, se obtuvieron los datos consolidados en la Tabla A4.1. En esta tabla, se lleva a cabo una comparación entre los valores asociados con la anomalía y los correspondientes a un oscilograma de funcionamiento normal (sin anomalías), dicha comparación tiene como objetivo identificar la influencia que el fallo introducido en el sensor ejerce sobre el control del rendimiento del inyector.

Figura A4.1: Oscilograma de inyector en ralentí con fallo en el sensor ECT



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de ralentí al producir una avería en el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

Tabla A4.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en ECT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]	0.59 [ms]	13.46 %

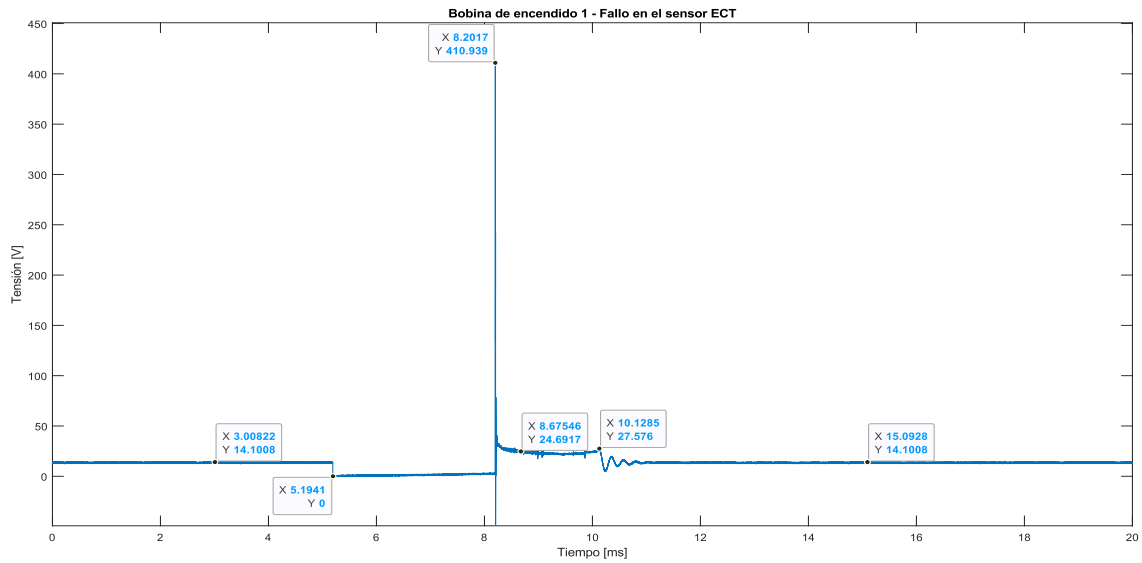
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]	0.29 [ms]	31.82 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40.2 [V]	- 41 [V]	-2 %

Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al generar un fallo en el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

La producción de una anomalía en el sensor ECT ocasiona que el tiempo en que el inyector permanece abierto aumente en un 31.82% y que el tiempo de apertura del inyector se incremente en total un 13.46%, dando como resultado que la cantidad de combustible que ingresa al interior del cilindro sea mayor al igual que el consumo, esto se justifica ya que al producir el fallo en el sensor ECT el electroventilador se acciona generando una mayor carga al motor que lo obliga a inyectar más cantidad de combustible.

En la Figura A4.2 se presenta el oscilograma que caracteriza la respuesta de la bobina de encendido durante el régimen de ralentí en presencia de una anomalía detectada en el sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT). Este registro gráfico ofrece información esencial acerca del rendimiento de la bobina ante la mencionada falla, la cual se condensa en la Tabla A4.2 En dicha tabla, se efectúa una comparación entre los valores asociados con y sin la anomalía, destacando el porcentaje de diferencia entre ambas condiciones.

Figura A4.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor ECT



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

Tabla A4.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en el sensor ECT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.94 [V]	0.08 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.69 [V]	1.31 %
Periodo de Dwell	3.02 [ms]	3.01 [ms]	0.33 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [ms]	1.93 [ms]	10.92 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de ralentí al generar un fallo sobre el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

La Tabla A4.2 indica que en situaciones donde el sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT) falla, el comportamiento de la bobina de encendido presenta alteraciones mínimas, siendo la modificación más notable un aumento del 10.92% en la duración de la chispa, esto debido a que la carga ejercida sobre el motor se incrementa al encender el electroventilador.

En la Tabla A4.3 al fallar el sensor de temperatura del refrigerante del motor, se acelera ligeramente el motor por el tiempo de inyección por las correcciones de la unidad de control electrónico en frío. Al instante se enciende el electroventilador de manera evitar sobre calentamientos del motor. La variación más notable es la señal del sensor ECT con un cambio de voltaje de 0.42 [V] pasando a tener alimentación del módulo control electrónico “ECM” que es de 5 [V].

Al momento de la producción del fallo se enciende la luz mil permaneciendo encendida y de igual manera en el escáner aparece un código de falla.

Tabla A4.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor ECT

Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.55 [ms]	5.77 %
Presión del colector de admisión	247.93 [hPa]	281.33 [hPa]	13.47 %
Posición de la mariposa de aceleración (ángulo 1)	1.96 [°]	2.37 [°]	20.92 %
Señal del sensor ECT	0.42 [V]	5 [V]	1090.48 %
Relay del ventilador de refrigeración (ALTA)	OFF		ON

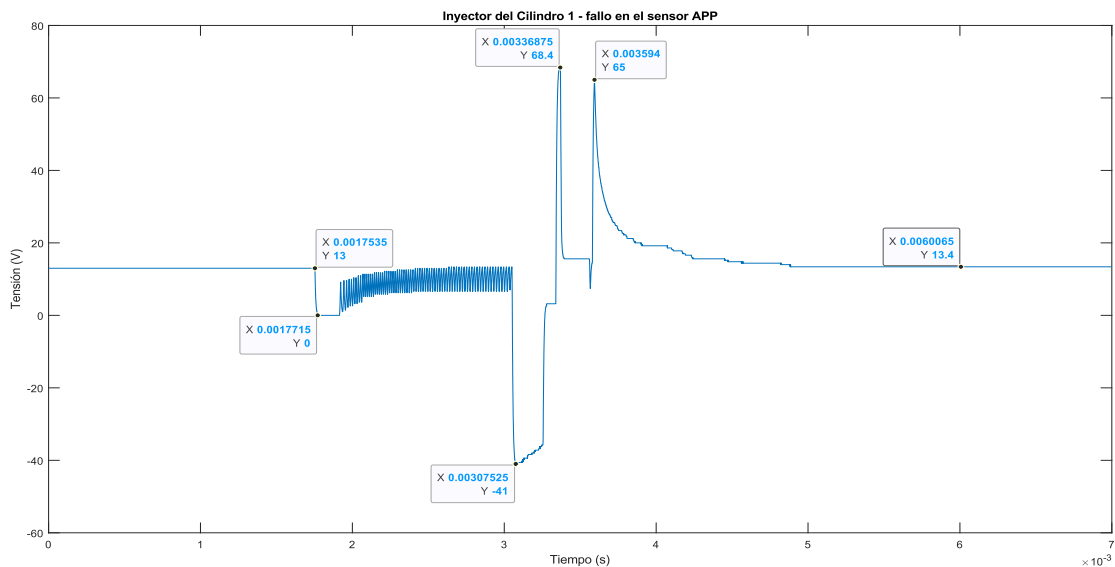
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P0118		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor ECT, **Fuente:** Autores

Anexo 5. Fallo en sensor APP en ralentí

La Figura A5.1 presenta el oscilograma correspondiente al comportamiento de un inyector durante el régimen de ralentí al inducir un fallo en el sensor de posición del pedal del acelerador (APP). Los valores derivados de este oscilograma están resumidos en la Tabla A5.1, que también exhibe los valores correspondientes a un funcionamiento normal sin fallos, junto con el porcentaje de diferencia al contrastar los datos en ambas condiciones de operación del inyector.

Figura A5.1: Oscilograma de inyector en ralentí con fallo en el sensor APP



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno en condiciones de ralentí al producir una avería en el sensor APP, **Fuente:** Autores.

Tabla A5.1: Valores característicos del oscilograma del inyector en ralentí con avería en APP

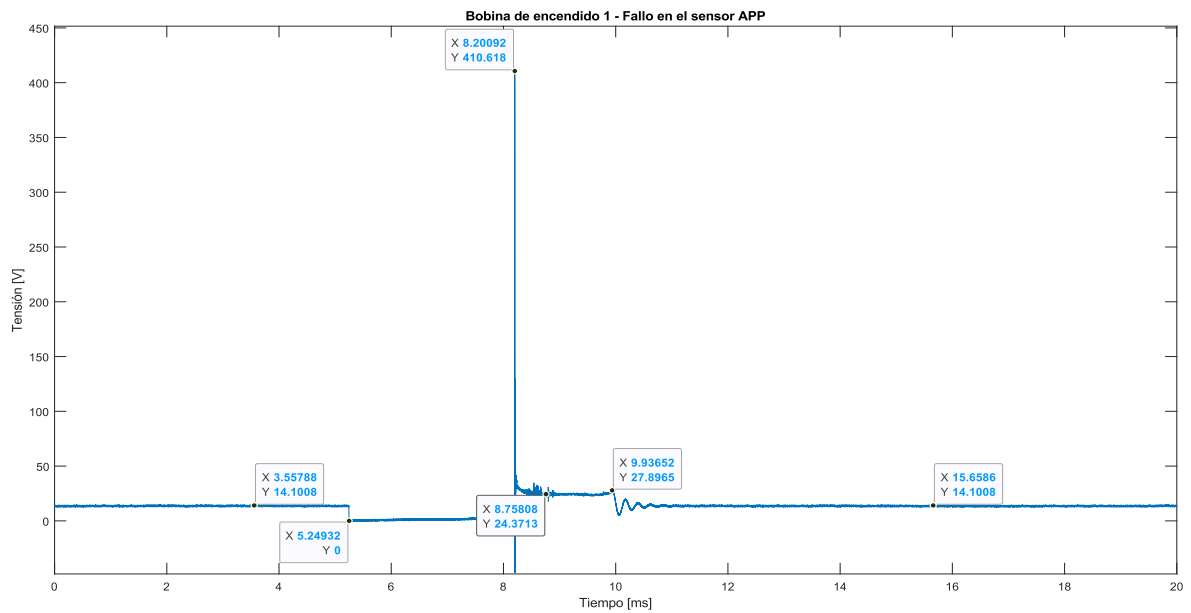
Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.52 [ms]	0.52 [ms]	0 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.22 [ms]	0.23[ms]	4.5 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 40.2 [V]	- 41 [V]	-2 %

Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al generar un fallo en el sensor APP, **Fuente:** Autores.

La Tabla A5.1 muestra que al producir un fallo sobre el sensor APP el funcionamiento del inyector no se ve afectado, pues a pesar de que el tiempo que el inyector permanece abierto difiere en un 4.5% este valor no es considerable ya que dicha diferencia se debe al error en el proceso de recolección de datos. Este comportamiento de igual manera se fundamenta en que en condiciones de ralentí el sensor APP no juega un papel determinante ya que el pedal del acelerador no cambia su posición pues no es accionado.

En la Figura A5.2 se exhibe el oscilograma correspondiente al comportamiento de la bobina de encendido en régimen de ralentí bajo la presencia de una avería en el sensor de posición del pedal del acelerador (APP), el oscilograma mencionado proporciona datos característicos del funcionamiento de la bobina durante el fallo mencionado, mismos que se resumen en la Tabla 3.26, en la cual también se compara los valores asociados con y sin fallo, resaltando el porcentaje de disparidad entre ambas condiciones.

Figura A5.2: Oscilograma de la bobina de encendido en condiciones de ralentí con fallo producido sobre el sensor APP



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor APP, **Fuente:** Autores.

Tabla A5.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido en ralentí con avería en el sensor APP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	411.26 [V]	410.62 [V]	0.16 %
Tensión de inflamación	24.37 [V]	24.37 [V]	0 %
Periodo de Dwell	3.02 [V]	2.95 [ms]	2.32 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.74 [V]	1.74 [ms]	0 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de ralentí al generar un fallo sobre el sensor APP, **Fuente:** Autores

Al generar un fallo en el sensor APP el comportamiento de la bobina no se ve afectado, como se muestra en la Tabla A5.2 el porcentaje máximo de diferencia es de 2.32% correspondiente al periodo de Dwell sin embargo no es un cambio considerable, el resto de las variables como duración de chispa, tensión de encendido y tensión de inflamación muestra un porcentaje de cambio de 0 o muy cercano a 0.

La generación del fallo en el APP modifica el flujo de datos inicial y se muestran en la Tabla A5.3, pues, al producir el fallo en el sensor APP, el motor tiene un ligero descenso de sus revoluciones e inmediatamente regresa al régimen normal de giro. El pedal de aceleración electrónica no responde después del fallo sin poder variar la velocidad de giro del motor. El pulso de inyección de combustible no se ve afectado, mientras que la variable que más cambio sufre es la señal del sensor de posición del acelerador con un porcentaje de cambio del 100%.

El fallo hace que se encienda la luz MIL y permanezca encendida, en el escáner se observa dos códigos de avería.

Tabla A5.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor APP

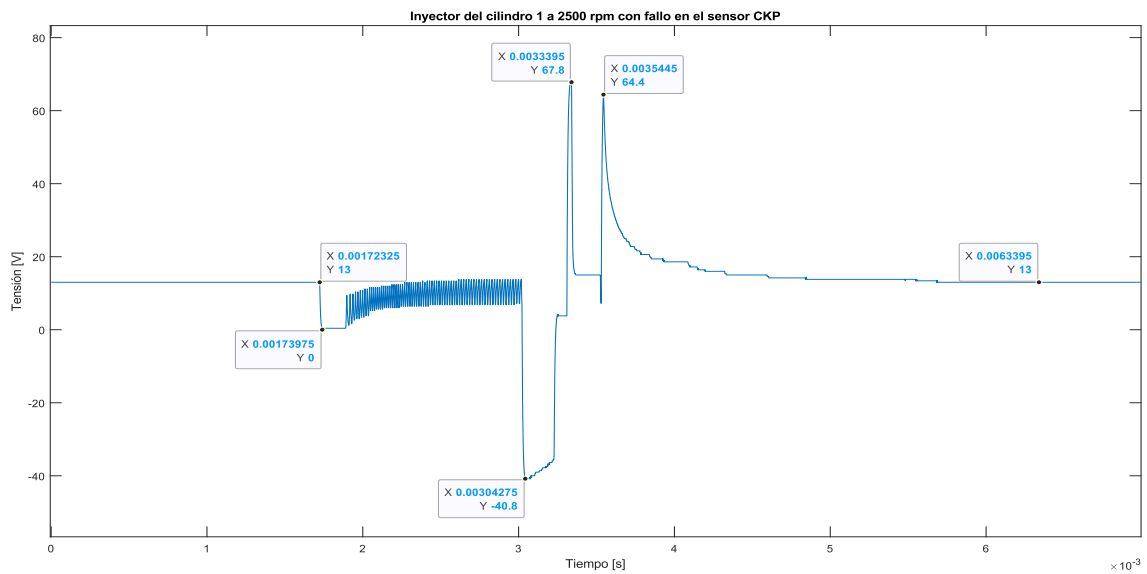
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.52 [ms]	5.77 %
Posición del pedal del acelerador (sensor 1)	0.73 [V]	0 [V]	-100 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P2122, P2110		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de marcha mínima al producir un fallo en el sensor APP, **Fuente:** Autores

Anexo 6. Fallo CKP a 2500 rpm

La Figura A6.1 muestra el oscilograma descrito por el inyector al producir un fallo sobre el sensor de posición del cigüeñal CKP bajo un régimen de 2500 rpm; a partir del oscilograma se obtuvo los valores registrados en la Tabla A6.1 donde además se realiza una comparación entre los valores en condiciones normales y con fallos para determinar el porcentaje de diferencia entre ambos.

Figura A6.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con avería en el sensor CKP



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir una avería en el sensor CKP, **Fuente:** Autores.

Tabla A6.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con fallo en CKP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.50 [ms]	0 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.20 [ms]	0 %

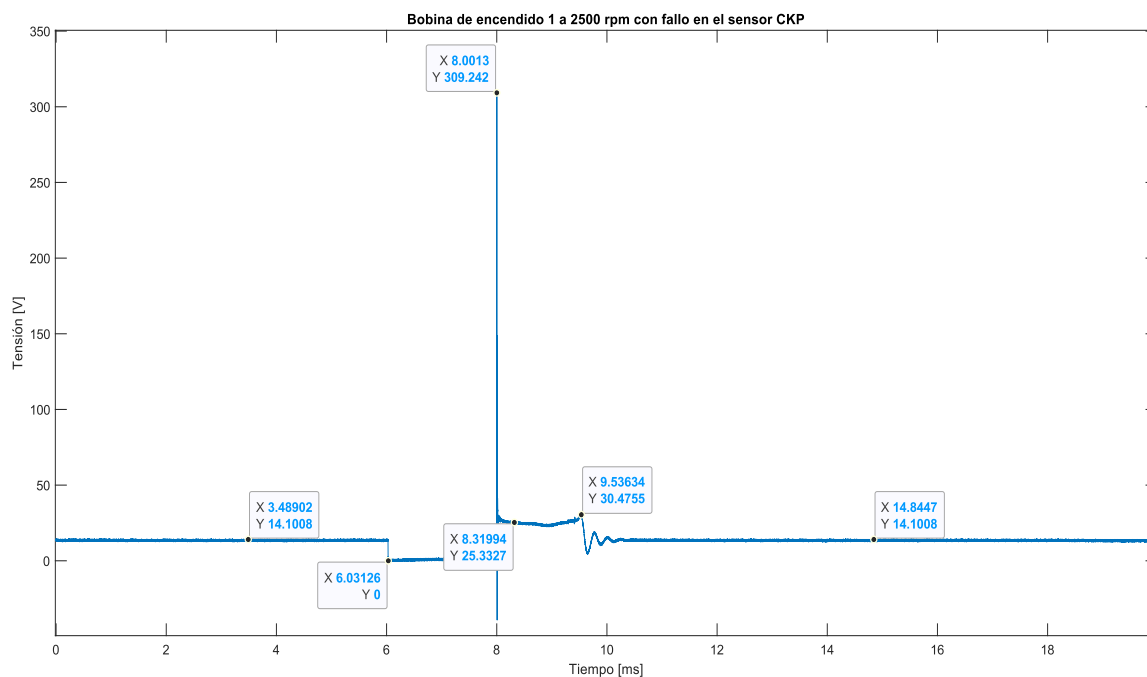
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	67.8 [V]	- 0.88 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	-40.8 [V]	-0.49 %

Datos obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo en el sensor CKP, **Fuente:** Autores.

Al producirse un fallo en el sensor CKP se muestra que el control y comportamiento del inyector no sufren afectaciones pues el porcentaje de cambio de sus variables características es de 0% o está muy cerca al 0% como se lo indica en la Tabla A6.1, esto se debe a que a 2500 rpm al fallar el CKP el motor no se apaga puesto que la ECM hace uso de los sensores CMP de admisión y escape para ajustar el tiempo de sincronización de la inyección.

En la Figura A6.2 se exhibe el oscilograma correspondiente a la señal generada por la bobina de encendido durante condiciones de 2500 rpm, bajo un mal funcionamiento en el sensor CKP. Este oscilograma proporciona datos distintivos sobre el rendimiento de la bobina después de la ocurrencia de la falla. Dichos datos se detallan en la Tabla A6.2, que también incluye el porcentaje de disparidad entre los valores anteriores al fallo y los valores posteriores a la manifestación de la falla.

Figura A6.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en CKP



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en el sensor de posición del cigüeñal, **Fuente:** Autores.

Tabla A6.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en el CKP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	309.24 [V]	-1.53 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	25.33 [V]	1.28 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.97 [ms]	1.03 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.54 [ms]	6.21 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo en el sensor de posición del cigüeñal, **Fuente:** Autores

Una anomalía en el funcionamiento del sensor CKP a una velocidad de giro de 2500 rpm no incide de manera considerable en el comportamiento de la bobina de encendido pues su máximo porcentaje de incremento es de 6.21% en la duración de la chispa (ver Tabla 3.41), lo cual puede atribuirse a la mayor cantidad de combustible inyectado que necesita una aportación de calor por más tiempo en el proceso de combustión. El resto de las variables no sobrepasan un porcentaje de diferencia de 2% como se lo indica en la Tabla 3.41 por lo cual no se las considera.

Cuando se realiza un fallo en el CKP tenemos un ligero descenso de las revoluciones del motor, pero es de corta duración debido a que se vuelven a colocar a 2500 revoluciones por minuto de forma automática por corrección de la ECU, de forma complementaria con el flujo de datos se realiza la Tabla A6.3 que integra las variables de mayor relevancia como es el tiempo de inyección el cual no se ve modificado. De igual manera se tiene que en el tablero de instrumentos se ve afectado por la pérdida del dato físico del tacómetro de las revoluciones que de inmediato producto del fallo desciende a 0.

Por otra parte, en el scanner tenemos la aparición de un código de fallo, y de manera visual no se enciende la luz MIL.

Tabla A6.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor CKP

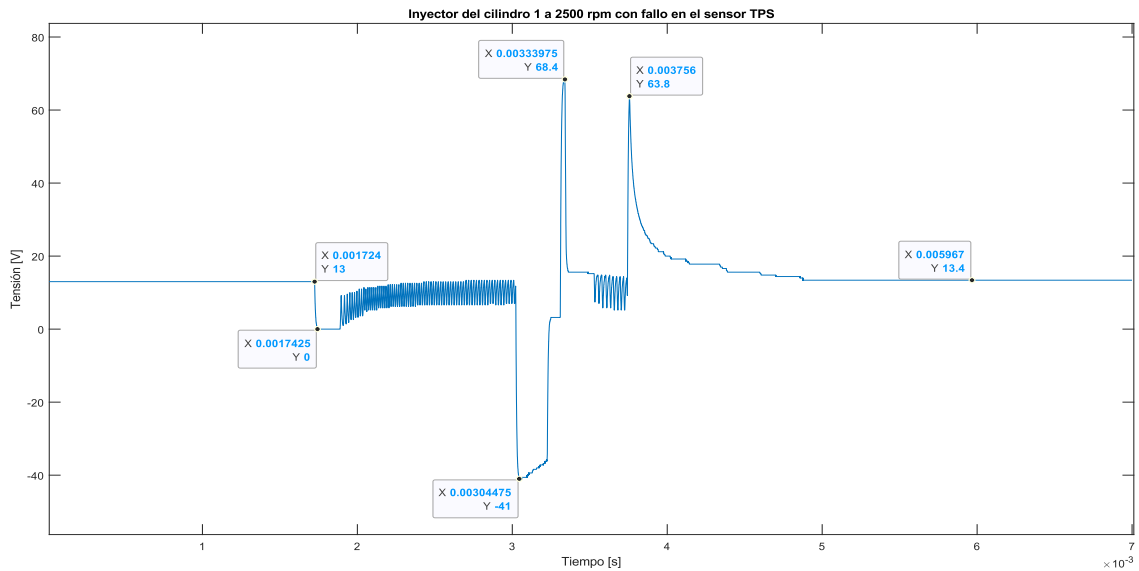
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.50 [ms]	0.50 [ms]	0 %
Estado de la CVVT	ENABLE		Limp-Home
Estado de la luz de check o MIL	OFF		
Código de fallos	P0335		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor CKP GDI, **Fuente:** Autores

Anexo 7. Fallo TPS a 2500 rpm

En la Figura A7.1 se presenta el oscilograma de la operación del inyector en presencia de una anomalía en el sensor TPS bajo un régimen de 2500 rpm. A partir de este oscilograma, se han extraído los datos consignados en la Tabla A7.1, la cual compara los valores en situaciones normales y con fallo, destacando el porcentaje de diferencia entre ambos datos.

Figura A7.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en el sensor TPS



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir una avería en el sensor TPS, **Fuente:** Autores.

Tabla A7.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en TPS

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.71 [ms]	42 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.42 [ms]	110 %

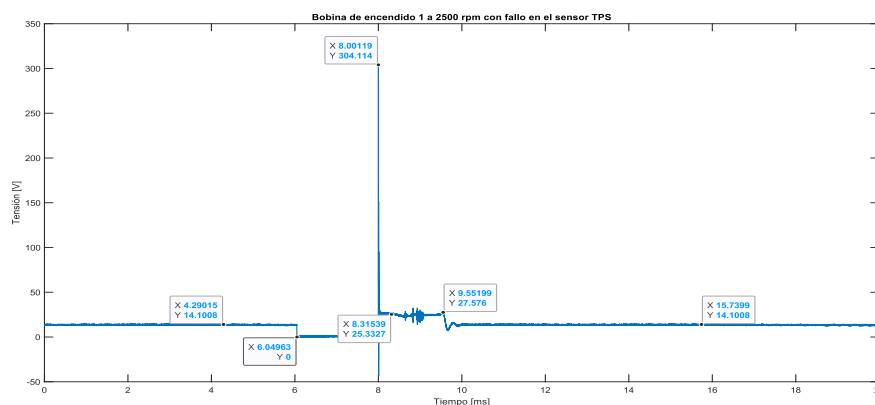
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	68.4 [V]	0 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	-41 [V]	0 %

Datos obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm con fallo en el sensor TPS, **Fuente:** Autores.

Una avería en el sensor TPS ocasiona un incremento del 110% en el tiempo en el cual el inyector permanece abierto suministrando combustible al interior del cilindro en un régimen de 2500 rpm como se muestra en la Tabla A7.1, este aumento resulta en un mayor consumo de combustible, además, es posible corroborar con otra variable afectada que el sensor TPS posee una influencia considerable sobre la gestión electrónica del funcionamiento del inyector bajo este régimen, pues, el tiempo de apertura total del inyector sufrió un incremento del 42% con relación a un funcionamiento normal sin averías (ver Tabla A7.1).

La Figura A7.2 presenta el oscilograma relativo a la señal emitida por la bobina de encendido a 2500 rpm, en presencia de una anomalía en el sensor TPS. Este oscilograma aporta información distintiva acerca del desempeño de la bobina luego de la ocurrencia de la anomalía. Los detalles de estos datos se encuentran en la Tabla A7.2, la cual también incorpora el porcentaje de discrepancia entre los valores previos a la falla y aquellos posteriores a la manifestación del problema.

Figura A7.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en TPS



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en el sensor TPS, **Fuente:** Autores.

Tabla A7.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con avería en TPS

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	304.11 [V]	-3.17 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	25.33 [V]	1.28 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.95 [ms]	0 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.55 [ms]	6.90 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo sobre el sensor TPS, **Fuente:** Autores

Al fallar el sensor TPS la gestión electrónica del funcionamiento de la bobina de encendido bajo este régimen de funcionamiento del motor no posee una afectación considerable en sus variables representativas ya que la Tabla A7.2 registra que el mayor porcentaje de cambio es de 6.90% y corresponde al incremento en el tiempo de quemado. Las demás variables sufren cambios mínimos despreciables para el análisis.

Con la comparativa de datos sin falla y la realización del fallo en el sensor TPS son modificados los valores de modo que la unidad de control electrónico realiza ajustes los cuales son detallado en el flujo de datos en la Tabla A7.3 el valor de mayor importancia el cual es el tiempo de inyección se ve modificado en un 42% puesto que se pierde la señal de la posición de la mariposa de aceleración. El motor se ve limitado a la potencia que puede desarrollar.

Por tanto, en el scanner aparecen 4 códigos de fallo, de inmediatamente enciende la luz MIL en el tablero como sinónimo de alerta al conductor.

Tabla A7.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor TPS

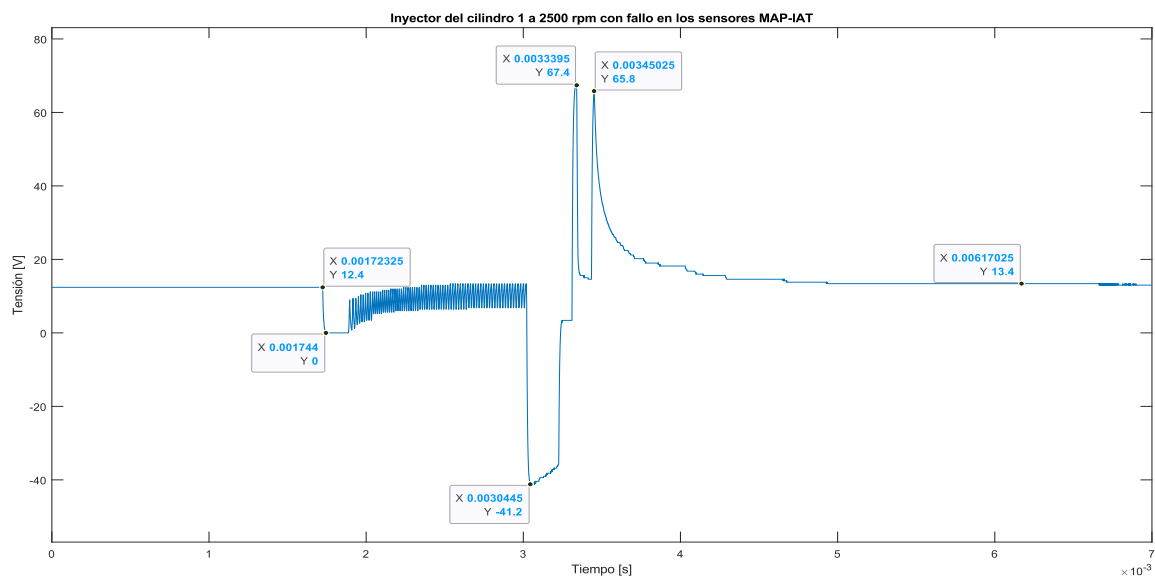
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.71 [ms]	42 %
Velocidad actual del motor	2500 [rpm]	1467 [rpm]	-42.32 %
Posición de la mariposa de aceleración (ángulo 1)	8.13 [°]	12.77 [°]	57.07 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P0121, P2106, P0638, P2135		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor TPS, **Fuente:** Autores

Anexo 8. Fallo MAP e IAT a 2500 rpm

La Figura A8.1 se exhibe el oscilograma que ilustra la operación del inyector en un régimen de 2500 rpm ante la detección de una irregularidad en los sensores de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAP) y Temperatura del Aire de Admisión (IAT). A partir de dicho oscilograma, se han recopilado los datos reflejados en la Tabla A8.1, la cual contrasta los valores correspondientes a condiciones normales y situaciones con fallo.

Figura A8.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en los sensores MAP e IAT



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir una avería en los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores.

Tabla A8.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en MAP e IAT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.41 [ms]	- 18 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.11 [ms]	- 45 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	67.4 [V]	-1.46 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	- 41.2 [V]	0.49 %

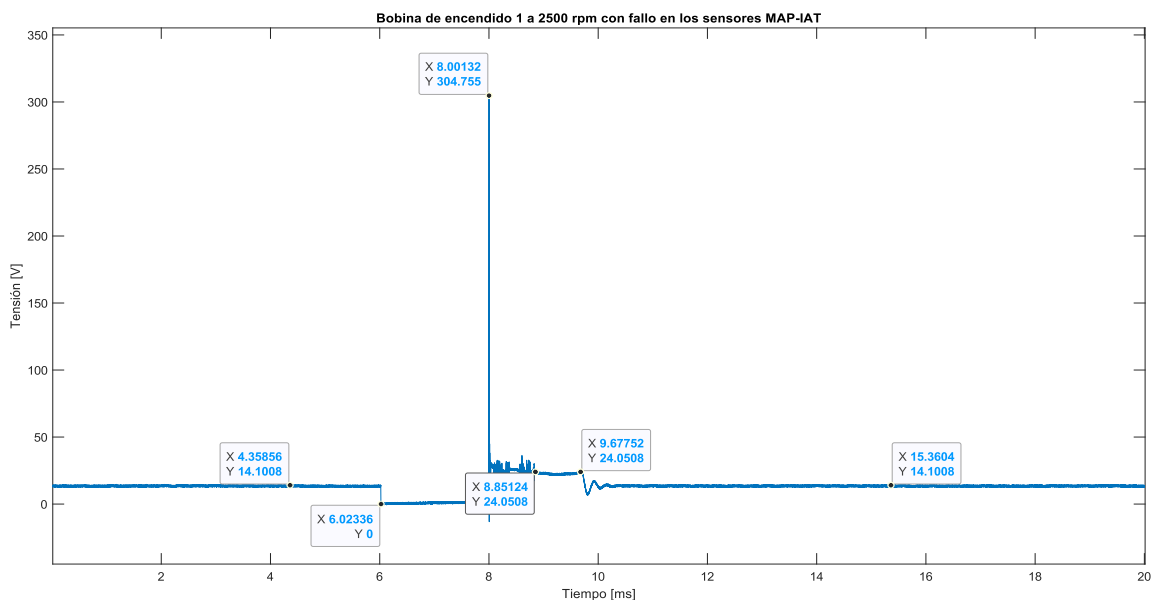
Datos obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm con fallo en los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores.

Los datos registrados en la Tabla A8.1 muestran que al producirse una anomalía en el funcionamiento de los sensores MAP e IAT el comportamiento del inyector es modificado

considerablemente, pues, se reduce en un 45 % el tiempo en que permanece abierto, ocasionando que el tiempo total de apertura del inyector también se vea afectado disminuyéndose en un 18%, dichos cambios en el funcionamiento del inyector se deben a que el motor no es capaz de estimar el flujo masico de aire que ingresa al cilindro para ajustar la cantidad de combustible necesario que se aproxime a la estequiometria para el proceso de combustión, inyectando así una menor cantidad de combustible que da origen a una mezcla pobre, con ello se tiene un menor consumo pero también se limita la potencia del motor ya que la velocidad de giro disminuye.

La representación gráfica de la onda descrita por la bobina de encendido cuando el motor se encuentra a 2500 rpm en presencia de una avería en los sensores de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAP) y Temperatura del Aire de Admisión (IAT) se presenta en la Figura A8.2. Este oscilograma proporciona datos significativos acerca del desempeño de la bobina durante el fallo mencionado, mismos que se detallan en la Tabla A8.2. Esta tabla compara los valores asociados con y sin fallo, resaltando el porcentaje de disparidad entre ambas condiciones.

Figura A8.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en MAP e IAT



Forma de onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores.

Tabla A8.2: Valores característicos del oscilograma de la Bobina de encendido a 2500 rpm con avería en MAP e IAT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	304.76 [V]	-2.96 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	24.05 [V]	-3.84 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.98 [ms]	1.54 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.68 [ms]	15.86 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo sobre los sensores MAP e IAT, **Fuente:** Autores

Al producirse una avería en los sensores MAP e IAT a 2500 rpm la bobina de encendido incrementa su tiempo de chispa en un 15.86% siendo esta la única modificación de interés que sufre su funcionamiento a causa del fallo tal y como se muestra en la Tabla A8.2. El incremento en el tiempo de quemado se debe a la disminución del régimen de giro en el motor a causa del fallo lo cual permite que el tiempo en que deben realizarse las fases de trabajo del motor sea mayor y por ello la bobina pueda alargar su duración de chispa en la fase de expansión.

La Tabla A8.3 muestra el flujo de datos con mayor influencia en el cual se detalla que el pulso de inyección disminuye en un -18% debido a la caída de las revoluciones por minuto que decrecen alrededor de 250 rpm de su valor total de la prueba, de manera que se disminuye el consumo de combustible.

De manera visual para el conductor se muestra la luz MIL, y en el scanner se tienen dos códigos de fallo.

Tabla A8.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor MAP e IAT

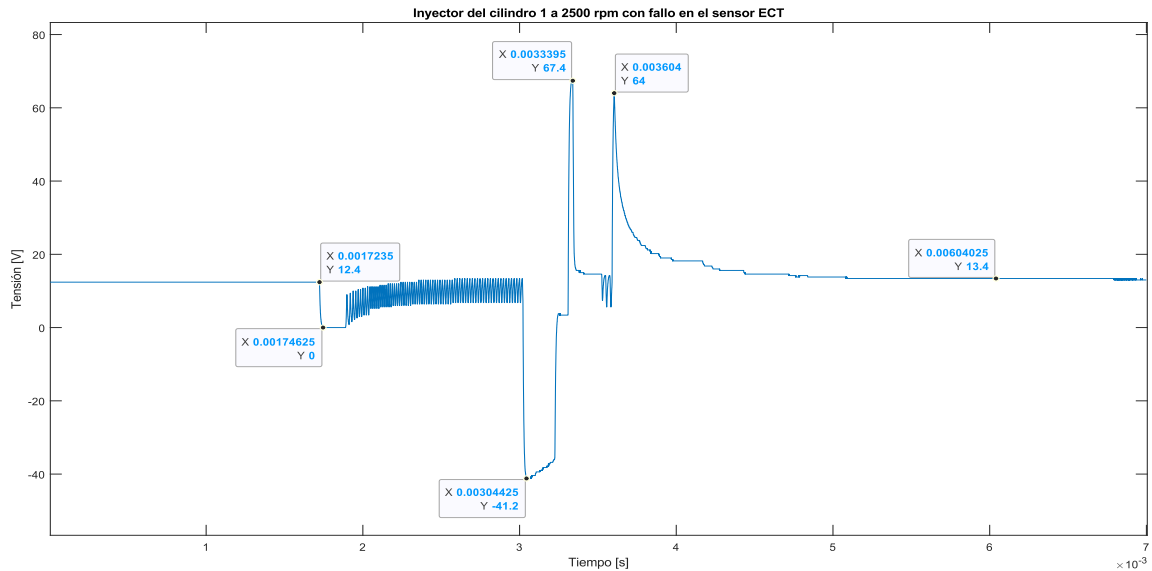
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.52 [ms]	0.41 [ms]	-18 %
Señal del sensor de la temperatura del aire	0.79 [V]	5 [V]	532.91 %
Presión del colector de admisión	218.75 [hPa]	100 [hPa]	-54.29 %
Señal del sensor MAP	0.87 [V]	0.01 [V]	-98.85 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P0107, P0113		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor MAP e IAT, **Fuente:** Autores

Anexo 9. Fallo ECT a 2500 rpm

Utilizando el oscilograma que ilustra el comportamiento de un inyector en un régimen de 2500 rpm al inducir un fallo en el sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT) expuesto en la Figura A9.1, se obtuvieron los datos consolidados en la Tabla A9.1. En esta tabla, se lleva a cabo una comparación entre los valores asociados con la anomalía y los correspondientes a un oscilograma de funcionamiento normal (sin anomalías), dicha comparación tiene como objetivo identificar la influencia que el fallo introducido en el sensor ejerce sobre el control del rendimiento del inyector.

Figura A9.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en el sensor ECT



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir una avería en el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

Tabla A9.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en ECT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.56 [ms]	12 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.26 [ms]	30 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	67.4 [V]	-1.46 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	- 41.2 [V]	0.49 %

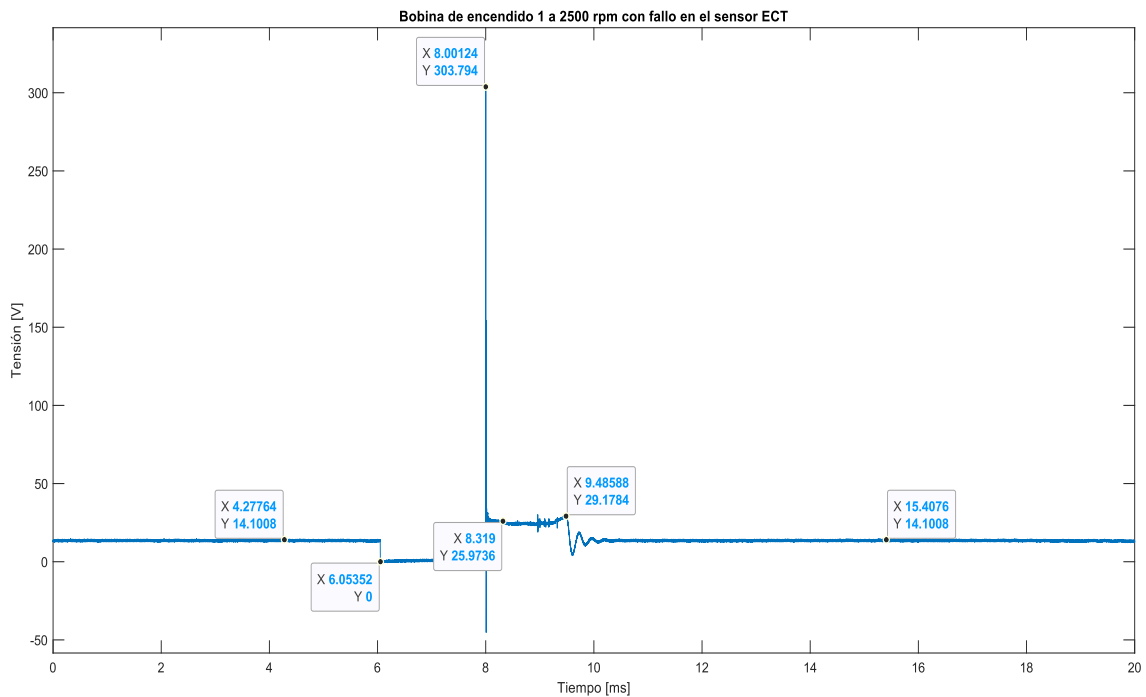
Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo en el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

La producción de una anomalía en el sensor ECT ocasiona que el tiempo en que el inyector permanece abierto aumente en un 30% y que el tiempo de apertura del inyector se incremente

en total un 12%, dando como resultado que la cantidad de combustible que ingresa al cilindro sea mayor al igual que el consumo, esto sucede gracias a que al producir el fallo en el sensor ECT el electroventilador se acciona generando una mayor carga al motor quien a pesar de estar a 2500 rpm obliga a la ECM a inyectar más cantidad de combustible para compensar el esfuerzo adicional.

En la Figura A9.2 se presenta el oscilograma que caracteriza la respuesta de la bobina de encendido durante el régimen 2500 rpm en presencia de una anomalía detectada en el sensor ECT. Este registro gráfico ofrece información esencial acerca del rendimiento de la bobina ante la mencionada falla, la cual se condensa en la Tabla A9.2. En dicha tabla, se efectúa una comparación entre los valores asociados con y sin la anomalía.

Figura A9.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en sensor ECT



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno en condiciones de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

Tabla A9.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con avería en el sensor ECT

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	303.79 [V]	-3.27 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	25.97 [V]	3.84 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	1.95 [ms]	0 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.48 [ms]	2.07 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo sobre el sensor ECT, **Fuente:** Autores.

La Tabla A9.2 indica que en situaciones donde el sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT) falla, el comportamiento de la bobina de encendido presenta alteraciones mínimas las cuales no representan un cambio considerable y por lo tanto son despreciables para el análisis.

En la Tabla A9.3 al fallar el sensor de temperatura del refrigerante del motor, se acelera ligeramente el motor debido a la carga que se le pone al motor al encender el electroventilador, las correcciones por parte de la unidad de control electrónico el tiempo de inyección se aumenta en un 12%. A la vez se tiene que considerar que el aumento del tiempo de inyección ayuda a enfriar la cámara, y el electroventilador se enciende de manera preventiva evitando un sobre calentamiento del motor. Mientras que en la parte visual se pierde el nivel de temperatura del motor en el tablero de instrumentos.

Al momento de la producción del fallo se enciende la luz MIL permaneciendo encendida y de igual manera en el escáner aparece un código de falla.

Tabla A9.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor ECT

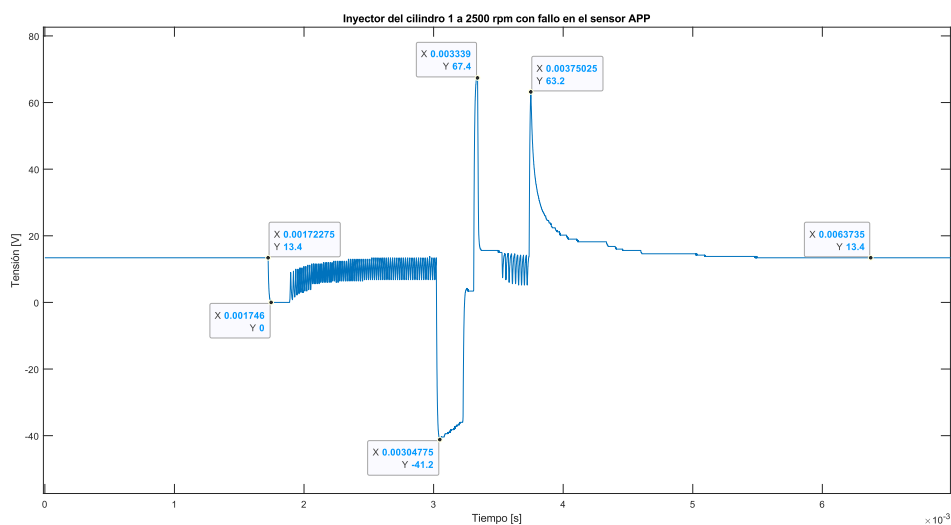
Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.50 [ms]	0.56 [ms]	12 %
Presión del colector de admisión	218.75 [hPa]	248.16 [hPa]	13.45 %
Posición de la mariposa de aceleración (ángulo 1)	8.13 [°]	9.88 [°]	21.53 %
Señal del sensor ECT	0.43 [V]	5 [V]	1062.79 %
Relay del ventilador de refrigeración (ALTA)	OFF		ON
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P0118		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor ECT, **Fuente:** Autores

Anexo 10. Fallo APP a 2500 rpm

La Figura A10.1 presenta el oscilograma correspondiente al comportamiento de un inyector durante el régimen de 2500 rpm al inducir un fallo en el sensor de posición del pedal del acelerador (APP). Los valores derivados de este oscilograma se encuentran resumidos en la Tabla A10.1, que también exhibe los valores correspondientes a un funcionamiento normal sin fallos.

Figura A10.1: Oscilograma de inyector a 2500 rpm con fallo en el sensor APP



Forma de onda descrita por el inyector del cilindro uno a 2500 rpm al producir una avería en el sensor APP, **Fuente:** Autores.

Tabla A10.1: Valores característicos del oscilograma del inyector a 2500 rpm con avería en APP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tiempo de apertura del inyector	0.50 [ms]	0.70 [ms]	40 %
Tiempo que el inyector permanece abierto	0.20 [ms]	0.41 [ms]	105 %
Pico máximo de tensión	68.4 [V]	67.4 [V]	-1.46 %
Pico mínimo de tensión	- 41 [V]	- 41.2 [V]	0.49 %

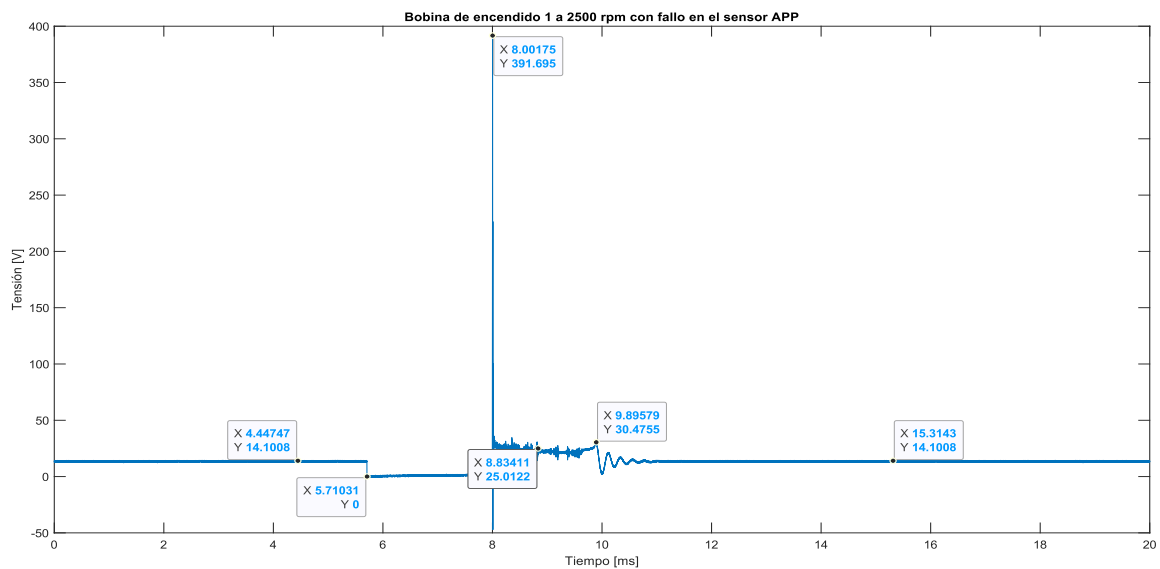
Valores obtenidos del oscilograma del inyector del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo en el sensor APP, **Fuente:** Autores.

La Tabla A10.1 muestra que al producir un fallo sobre el sensor APP el funcionamiento del inyector se ve afectado de manera considerable, pues incrementa en un 105% el tiempo en

que el inyector permanece abierto y en un 40% el tiempo de apertura total, estas alteraciones se deben a que el fallo ocasiona que el motor reduzca su velocidad de giro súbitamente hasta llegar al ralentí, con ello debería esperarse que tanto el tiempo que el inyector permanece abierto así como el tiempo de apertura del inyector sean menores sin embargo no es así, pues, la ECM al identificar la anomalía ocurrida con el motor girando a 2500 rpm interviene sobre el comportamiento del inyector con el objetivo de estabilizar el funcionamiento del motor.

En la Figura A10.2 se exhibe el oscilograma correspondiente al comportamiento de la bobina de encendido a 2500 rpm bajo la presencia de una avería en el sensor APP, el oscilograma mencionado proporciona datos característicos del funcionamiento de la bobina durante el fallo mencionado, mismos que se resumen en la Tabla A10.2, en la cual también se compara los valores asociados con y sin fallo, resaltando el porcentaje de disparidad entre ambas condiciones.

Figura A10.2: Oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con fallo en APP



Onda descrita por la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al producir un fallo en el sensor APP, **Fuente:** Autores.

Tabla A10.2: Valores característicos del oscilograma de la bobina de encendido a 2500 rpm con avería en el sensor APP

Variable	Valor sin fallo	Valor con fallo	% Porcentaje de cambio
Tensión de encendido (Pico inductivo)	314.06 [V]	391.70 [V]	24.72 %
Tensión de inflamación	25.01 [V]	25.01[V]	0 %
Periodo de Dwell	1.95 [ms]	2.29 [ms]	17.44 %
Tiempo de quemado (Duración de Chispa)	1.45 [ms]	1.89 [ms]	30.34 %

Datos del oscilograma de la bobina de encendido del cilindro uno a 2500 rpm al generar un fallo sobre el sensor APP, **Fuente:** Autores

Al generar un fallo en el sensor APP se disminuye súbitamente la velocidad de giro del motor lo que provoca que el tiempo para cada fase de trabajo sea mayor, esto permite que la bobina de encendido se vea afectada en su funcionamiento, pues como se indica en la Tabla A10.2, incrementa el periodo de saturación o Dwell un 17.44% y la duración de chispa en un 30.34%, adicionalmente el pico inductivo también aumenta un 24.27% esto debido a que la bobina al poseer un mayor tiempo de saturación se encuentra mejor cargada proporcionando una tensión mayor.

La generación del fallo en el APP modifica el flujo de datos inicial y se muestran en la Tabla A10.3, al producir el fallo en el sensor APP, de manera inmediata el motor desciende sus revoluciones dejándolo en marcha mínima limitando la potencia del motor, sin dejar realizar ninguna acción en el pedal de aceleración electrónico sin cambio alguno.

El fallo hace que se encienda la luz MIL y permanezca encendida, en el escáner se observa dos códigos de avería.

Tabla A10.3: Variables de respuesta de mayor relevancia en el fallo del sensor APP

Variables más influyentes	Valor sin fallo	Valor con fallo	%Porcentaje de cambio
Tiempo de inyección	0.50 [ms]	0.70 [ms]	40 %
Posición del pedal del acelerador (sensor 1)	1.03 [V]	0.01 [V]	-99.03 %
Velocidad actual del motor	2500 [rpm]	628 [rpm]	-74.88 %
Estado de la luz de check o MIL	OFF		ON
Código de fallos	P2122, P2110		

Valores obtenidos del flujo de datos de la gestión electrónica del motor al producir en condiciones de 2500 rpm al producir un fallo en el sensor APP, **Fuente:** Autores