



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE
INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE
RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50,
CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC**

AUTORES: DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA

PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2016



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50, CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC**” realizado por los señores **DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA y PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA y PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de Julio 2016

**WASHINGTON GERMÁN ERAZO LAVERDE
DIRECTOR**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA**, con cédula de identidad N°050278629-6, y **PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS**, con cédula de identidad N°050398727-3, declaramos que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50, CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 28 de Julio 2016

David Alejandro García Estrella
C.C.: 0502786296

Paulina Marcela Logroño Karolys
C.C.: 0503987273



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA** y **PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50, CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 28 de Julio 2016

David Alejandro García Estrella
C.C.: 0502786296

Paulina Marcela Logroño Karolys
C.C.: 0503987273

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia, a mi lado o a la distancia han sido los que me han apoyado para llegar a ser quien soy, en especial a mi mamá Tatiana y mi abuelita Cecilia quienes forman parte fundamental de mis logros, me acompañaron incondicionalmente y me brindaron lo necesario para ser una persona de bien.

David Alejandro García Estrella

DEDICATORIA

A mi mami por apoyar mis sueños, por no escatimar esfuerzos para verme realizada en la vida, por ser mi ejemplo a seguir, por ser excelente madre y persona, por ser el mejor ser humano e incentivarnos a mis hermanas y a mí, a ser personas correctas y de bien.

A mi papi, porque desde pequeña inculcó en mí valores y principios que me han servido en cada paso y me servirán durante toda mi vida, por su preocupación y compañía a pesar de las circunstancias, por su cariño y tolerancia.

A mis hermanas, Joselyn por ser mi compañera en cada etapa de mi vida, por cuidarme desde pequeña y por tener siempre una palabra de apoyo y cariño; a Michita por ser la alegría de mi vida, por motivarme a ser mejor y buscar el bien para ella, por alentarme para ser un ejemplo en tu vida y guiarte a ser una buena persona, por enseñarme a diario el significado del amor.

A mi querido Arturito, por quererme incondicionalmente, porque mientras pudo se preocupó siempre por saber de mí y de cómo me iba con mis estudios, aquí está la meta cumplida con su bendición.

Paulina Marcela Logroño Karolys

AGRADECIMIENTO

Agradezco por las oportunidades que me permitieron llegar a cumplir esta meta y prepararme para ser un profesional que aportará a la sociedad.

A mi familia que me ha acompañado en este largo proceso, por brindarme su cariño y su apoyo incondicional, les estaré eternamente agradecido.

A mis amigos por su amistad, su tiempo y su apoyo haciendo de este camino que hemos recorrido algo único.

También agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas, que por varios años fue mi hogar, a sus docentes y todos quienes están dispuestos a compartir su conocimiento para un desarrollo integral de aquellos que pasamos por sus aulas.

Al ingeniero Germán Erazo por su ayuda y guía constante que se refleja en la realización de este trabajo, al igual que al ingeniero José Quiroz por su predisposición y confianza.

David Alejandro García Estrella

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y bendecirme en cada paso que doy, por darme salud, sabiduría y fortaleza para cumplir cada una de mis metas, por darme el apoyo y compañía de mis padres y hermanas.

A mi mami, por ser mi apoyo incondicional y el pilar fundamental de mi vida, por no permitir que me rindiera en los momentos difíciles, por inculcar en mí valores de respeto y responsabilidad que me han permitido avanzar firmemente en este largo camino, por acompañarme en cada logro y en cada tropiezo, por su entrega y amor, por luchar a diario para verme convertida en una profesional.

A mi papi, por ser mi primer maestro, por inspirar en mí el amor por los autos desde pequeña y darme las primeras enseñanzas en ello, por enseñarme a ser constante y luchadora, por ser paciente y aconsejarme en los momentos complicados, por ser amigo, guía y confidente en cada etapa de mi vida, por apoyarme en todo siempre.

A mis hermanas, Joselyn por ser mi guía y compañera en cada etapa de mi vida, por encaminarme y no permitirme desfallecer, a Michita por ser la inspiración y fortaleza de mi vida, por ser ese angelito en la tierra que me llena de alegría, por el que me esfuerzo y por quien velaré siempre.

A mis angelitos en el cielo Arturito y Michita por ser la luz y guía en mi camino, porque aunque no estén físicamente su presencia va conmigo en todo momento.

A mi querida universidad, por acogerme y convertirse en mi segunda casa; a cada uno de mis docentes por brindarme sus conocimientos y enseñanzas invaluable, a mis compañeros por convertirse en amigos y ayudarme en todo momento.

Al Ing. Germán Erazo por ser una guía en el desarrollo de este proyecto y por brindarme sus conocimientos durante toda mi formación profesional. Al Ing. José Quiroz por ser amigo y confidente desde el inicio de mi carrera.

Paulina Marcela Logroño Karolys

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xxiv
RESUMEN	xxvi
ABSTRACT	xxvii

CAPÍTULO I

INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50, CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC”	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto	5
1.4. Justificación e importancia	6
1.5. Objetivo general	7
1.6. Objetivos específicos	7
1.7. Metas	8
1.8. Hipótesis	8
1.9. Variables de investigación.....	8
1.9.1. Variable independiente.....	8
1.9.2. Variable dependiente	9
1.10. Metodología de la investigación	10

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN MOTORES DIESEL	15
2.1. Parámetros de inyección.....	16

2.1.1.	Inicio de la inyección	16
2.1.2.	Curva de la inyección	18
2.1.3.	Patrones de inyección	19
2.1.4.	Inyecciones diesel	20
2.2.	Regulación electrónica Diesel (EDC)	23
2.2.1.	Sensores de temperatura	24
2.2.2.	Sensores de presión	26
2.2.3.	Sensor de revoluciones	27
2.2.4.	Sensores de posición	28
2.2.5.	Unidad de control	29
2.2.6.	Elementos actuadores.....	30
2.3.	Sistema de inyección de riel común diesel.....	31
2.3.1.	Principio de funcionamiento	33
2.3.2.	Componentes del sistema.....	33
2.4.	OBD II	44
2.4.1.	Monitoreo continuo.....	45
2.4.2.	Monitoreo no continuo.....	45
2.4.3.	Parámetros de diagnóstico.....	46
2.4.4.	Códigos de falla	48
2.4.5.	Ciclo de conducción.....	50
2.5.	Formación de emisiones contaminantes	51
2.6.	Magnitudes y escalas.....	52
2.7.	Equipos de medida de emisiones - Opacímetro.....	53
2.7.1.	Opacímetros de flujo parcial o muestreo.....	54
2.7.2.	Inspección de gases de escape (medición de valores de turbidez)	55
2.8.	Límites máximos de opacidad.....	56

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS	57	
3.1.	Equipos	57
3.1.1.	Opacímetro BRAIN BEE	57
3.1.2.	Osciloscopio OWON PDS5022T	60
3.1.3.	Scanner automotriz GScan 2	62
3.2.	Tabla de parámetros recopilados	65
3.3.	Inspección y preparación previa del vehículo.....	66
3.3.1.	Verificaciones sobre el vehículo	66
3.3.2.	Recomendaciones especiales de instalación.....	67

3.4.	Condiciones ambientales para la prueba	67
3.5.	Método de ensayo.....	68
3.6.	Procedimiento de pruebas	68
3.6.1.	Pasos previos.....	68
3.6.2.	Generación de códigos de fallas	75
3.6.3.	Ejecución.....	76
3.6.4.	Sugerencias	78

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS.....	79	
4.1.	Condiciones normales de funcionamiento.....	80
4.2.	Sensores de temperatura.....	83
4.2.1.	Sensor de temperatura del refrigerante del motor – ECT.....	83
4.2.2.	Sensor de temperatura del combustible – FTS	89
4.2.3.	Sensor de temperatura del aire de admisión en el depurador-IAT1.....	95
4.2.4.	Sensor de temperatura del aire de admisión en el turbo-IAT2.....	101
4.3.1.	Sensor de posición del pedal del acelerador – APP	107
4.4.	Sensores de presión	113
4.4.1.	Sensor de presión de combustible en el riel – FRP	113
4.4.2.	Sensor de presión de aire de admisión – MAP	114
4.5.	Sensores de flujo	120
4.5.1.	Sensor de flujo de aire de admisión – MAF.....	120
4.6.	Actuadores	126
4.6.1.	Inyectores.....	126
4.6.2.	Válvula de control de flujo de combustible SCV	137
4.6.3.	Válvula de control de turbo de geometría variable VBC.....	138
4.7.	Combinaciones	141
4.7.1.	DTC alto en el sensor ECT y desconexión del inyector 2	141
4.7.2.	DTC alto en los sensores MAP y ECT	144
4.7.3.	DTC bajo en el sensor MAF y DTC alto en el sensor IAT1	147
4.7.4.	DTC alto en los sensores MAP e IAT2.....	150
4.7.5.	Desconexión de la válvula VBC y del inyector 2	153
4.8.	Resumen de valores de opacidad en las pruebas con DTC en sensores.....	158
4.9.	Resumen de valores de opacidad en las pruebas con DTC en actuadores	159

4.10.	Resumen de valores de opacidad en las pruebas con combinaciones de DTC	160
4.11.	Resumen de tiempos de inyección en las pruebas con DTC en sensores.....	161
4.12.	Resumen de tiempos de inyección en las pruebas con DTC en actuadores	162
4.13.	Resumen de tiempos de inyección al combinar DTC.....	163

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO..... 164

5.1.	Recursos	164
5.1.1.	Recursos humanos	164
5.1.2.	Recursos físicos.....	165
5.1.3.	Recursos materiales.....	165
5.1.4.	Recursos tecnológicos	166
5.1.5.	Recursos financieros.....	166
5.2.	Análisis de costo del proyecto.....	167
5.3.	Análisis del costo – beneficio	168
5.4.	Cronograma	169

CONCLUSIONES..... 170

RECOMENDACIONES..... 173

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 175

ANEXOS.....178

ANEXO A Glosario

ANEXO B BT-50 MANUAL TALLER

ANEXO C NTE INEN 2202 2013

ANEXO D NTE INEN 2207 2002

ANEXO E INEN alfabético 2013

ANEXO F Marzo Latacunga 2016 - Pronóstico de AccuWeather

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de problema	4
Figura 2	Emisiones de NOx y HC en función del inicio de inyección	17
Figura 3	Curva de inyección de un sistema Common Rail	18
Figura 4	Curva de voltaje de un inyector diesel CRDI	19
Figura 5	Curva de corriente de un inyector diesel CRDI.....	19
Figura 6	Patrones de inyección.....	20
Figura 7	Efecto de la pre-inyección en la presión de la cámara de combustión	22
Figura 8	Parte principal del EDC.....	23
Figura 9	Curva característica de un sensor de temperatura NTC.....	24
Figura 10	Sensor de temperatura del líquido refrigerante.....	25
Figura 11	Estructura del sensor de revoluciones inductivo	27
Figura 12	Señal de un sensor de revoluciones inductivo	28
Figura 13	Línea característica de un sensor de pedal acelerador con potenciómetro redundante	28
Figura 14	Procesamiento de señales en la unidad de control	29
Figura 15	Ejemplos de componentes de alta presión de los sistemas de inyección diesel de Bosch.....	32
Figura 16	Módulos del sistema Common Rail	33
Figura 17	Esquema del circuito de la parte de alta presión del sistema Common Rail	35
Figura 18	Esquema de la bomba de alta presión	36
Figura 19	Riel o Acumulador de presión.....	37
Figura 20	Esquema del sensor de presión	37
Figura 21	Curva de señal del sensor de alta presión.....	38
Figura 22	Esquema de la válvula limitadora de presión.....	39
Figura 23	Esquema de la válvula reguladora de presión	40
Figura 24	Esquema de un inyector con electroválvula	42
Figura 25	Ejemplo de un ciclo de conducción.....	51
Figura 26	Esquema de funcionamiento de un opacímetro de flujo parcial	55
Figura 27	Ciclos de aceleración libre	56

Figura 28	Opacímetro Brain Bree	58
Figura 29	Ingreso de datos del vehículo	59
Figura 30	Interfaz del cuentarrevoluciones	59
Figura 31	Valores de opacidad medidos en una prueba.....	60
Figura 32	Panel frontal del osciloscopio PDS	61
Figura 33	Scanner GScan2	63
Figura 34	Captura de los parámetros establecidos para la investigación	64
Figura 35	Ubicación y partes de la ECU de la camioneta Mazda BT-50	68
Figura 36	Distribución de pines de la ECU de la camioneta Mazda BT-50	69
Figura 37	Diagrama eléctrico de sensores y actuadores de la camioneta Mazda BT-50.....	70
Figura 38	Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del refrigerante del motor.....	71
Figura 39	Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del combustible.....	71
Figura 40	Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del aire de admisión.....	71
Figura 41	Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del aire de admisión del turbo.....	72
Figura 42	Curva patrón de funcionamiento del sensor de posición del acelerador.....	72
Figura 43	Curva patrón de funcionamiento del sensor de posición del árbol de levas	72
Figura 44	Curva patrón de funcionamiento del sensor de presión del riel de combustible	73
Figura 45	Curva patrón de funcionamiento del sensor de presión del aire de admisión	73
Figura 46	Curva patrón de funcionamiento del sensor de flujo de aire de admisión	73
Figura 47	Curva patrón de funcionamiento de la válvula de control de caudal del combustible	74

Figura 48	Curva patrón de funcionamiento de la válvula de control de turbo de geometría variable	74
Figura 49	Parámetros seleccionados como importantes para la investigación	77
Figura 50	Oscilograma de inyección en condiciones normales y con el motor en frío	80
Figura 51	Oscilograma de inyección en condiciones normales y con el motor en caliente	81
Figura 52	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor en condiciones normales de funcionamiento, en frío y caliente...	82
Figura 53	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor en condiciones normales, en frío y caliente	82
Figura 54	Reconocimiento del DTC del ECT en código alto	83
Figura 55	Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC alto, con el motor en frío	83
Figura 56	Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	84
Figura 57	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor ECT presenta DTC alto, en frío y caliente ..	85
Figura 58	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor ECT presenta DTC alto, en frío y caliente ..	85
Figura 59	Reconocimiento del DTC del ECT en código bajo.....	86
Figura 60	Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, con el motor en frío	86
Figura 61	Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, con el motor en caliente.....	86
Figura 62	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, en frío y caliente .	87
Figura 63	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, en frío y caliente .	88
Figura 64	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor ECT	88
Figura 65	Reconocimiento del DTC del FTS en código alto	89

Figura 66	Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC alto, con el motor en frío.....	89
Figura 67	Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	90
Figura 68	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor FTS presenta DTC alto, en frío y caliente...	91
Figura 69	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor FTS presenta DTC alto, en frío y caliente...	91
Figura 70	Reconocimiento del DTC del FTS en código bajo	92
Figura 71	Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC bajo, con el motor en frío.....	92
Figura 72	Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	92
Figura 73	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor FTS presenta DTC bajo, en frío y caliente..	93
Figura 74	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor FTS presenta DTC bajo, en frío y caliente..	94
Figura 75	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor FTS.....	94
Figura 76	Reconocimiento del DTC del IAT1 en código alto	95
Figura 77	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, con el motor en frío.....	95
Figura 78	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	96
Figura 79	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, en frío y caliente..	97
Figura 80	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, en frío y caliente..	97
Figura 81	Reconocimiento del DTC del IAT1 en código bajo	98
Figura 82	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, con el motor en frío.....	98
Figura 83	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, con el motor en caliente.....	98

Figura 84	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, en frío y caliente .	99
Figura 85	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, en frío y caliente	100
Figura 86	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor IAT1	100
Figura 87	Reconocimiento del DTC del IAT2 en código alto	101
Figura 88	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, con el motor en frío	101
Figura 89	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, con el motor en caliente	101
Figura 90	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, en frío y caliente	102
Figura 91	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, en frío y caliente	103
Figura 92	Reconocimiento del DTC del IAT2 en código bajo	103
Figura 93	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, con el motor en frío	104
Figura 94	Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, con el motor en caliente	104
Figura 95	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, en frío y caliente	105
Figura 96	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, en frío y caliente	105
Figura 97	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor IAT2	106
Figura 98	Reconocimiento del DTC del APP en código alto	107
Figura 99	Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC alto, con el motor en frío	107

Figura 100	Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	107
Figura 101	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor APP presenta DTC alto, en frío y caliente	109
Figura 102	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor APP presenta DTC alto, en frío y caliente	109
Figura 103	Reconocimiento del DTC del APP en código bajo.....	110
Figura 104	Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC bajo, con el motor en frío.....	110
Figura 105	Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC bajo, con el motor en caliente.....	110
Figura 106	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor APP presenta DTC bajo, en frío y caliente	111
Figura 107	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor APP presenta DTC bajo, en frío y caliente	112
Figura 108	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor APP	112
Figura 109	Reconocimiento del DTC del FRP en código alto.....	113
Figura 110	Reconocimiento del DTC del FRP en código bajo.....	113
Figura 111	Reconocimiento del DTC del MAP en código alto	114
Figura 112	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC alto, con el motor en frío.....	114
Figura 113	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	115
Figura 114	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAP presenta DTC alto, en frío y caliente	116
Figura 115	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAP presenta DTC alto, en frío y caliente	116

Figura 116	Reconocimiento del DTC del MAP en código bajo	117
Figura 117	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, con el motor en frío	117
Figura 118	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, con el motor en caliente.....	117
Figura 119	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, en frío y caliente	118
Figura 120	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, en frío y caliente	119
Figura 121	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor MAP.....	119
Figura 122	Reconocimiento del DTC del MAF en código alto	120
Figura 123	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC alto, con el motor en frío.....	120
Figura 124	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC alto, con el motor en caliente.....	121
Figura 125	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAF presenta DTC alto, en frío y caliente	122
Figura 126	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAF presenta DTC alto, en frío y caliente	122
Figura 127	Reconocimiento del DTC del MAF en código bajo	123
Figura 128	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, con el motor en frío.....	123
Figura 129	Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, con el motor en caliente.....	123
Figura 130	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, en frío y caliente	124

Figura 131	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, en frío y caliente	125
Figura 132	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor MAF	125
Figura 133	Reconocimiento de la falla del inyector 1.....	126
Figura 134	Oscilograma de inyección con el inyector 1 desconectado, con el motor en frío.....	126
Figura 135	Oscilograma de inyección con el inyector 1 desconectado, con el motor en caliente.....	126
Figura 136	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 1 desconectado, en frío y caliente.....	127
Figura 137	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 1 desconectado, en frío y caliente.....	128
Figura 138	Reconocimiento de la falla del inyector 2.....	128
Figura 139	Oscilograma de inyección con el inyector 2 desconectado, con el motor en frío.....	129
Figura 140	Oscilograma de inyección con el inyector 2 desconectado, con el motor en caliente.....	129
Figura 141	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 1 desconectado, en frío y caliente.....	130
Figura 142	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 2 desconectado, en frío y caliente.....	130
Figura 143	Reconocimiento de la falla del inyector 3.....	131
Figura 144	Oscilograma de inyección con el inyector 3 desconectado, con el motor en frío.....	131
Figura 145	Oscilograma de inyección con el inyector 3 desconectado, con el motor en caliente.....	131
Figura 146	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 3 desconectado, en frío y caliente.....	132
Figura 147	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 3 desconectado, en frío y caliente.....	133
Figura 148	Reconocimiento de la falla del inyector 4.....	133

Figura 149	Oscilograma de inyección con el inyector 4 desconectado, con el motor en frío.....	134
Figura 150	Oscilograma de inyección con el inyector 4 desconectado, con el motor en caliente.....	134
Figura 151	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 4 desconectado, en frío y caliente.....	135
Figura 152	Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 4 desconectado, en frío y caliente.....	136
Figura 153	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales e inyectores.....	136
Figura 154	Reconocimiento de la falla de la válvula SCV.....	137
Figura 155	Reconocimiento de la falla de la válvula VBC.....	138
Figura 156	Oscilograma de inyección con la válvula VBC desconectada, con el motor en frío.....	138
Figura 157	Oscilograma de inyección con la válvula VBC desconectada, con el motor en caliente.....	139
Figura 158	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con la válvula VBC desconectada, en frío y caliente.....	140
Figura 159	Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor con la válvula VBC desconectada, en frío y caliente.....	140
Figura 160	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y la válvula VBC.....	141
Figura 161	Reconocimiento de la falla del sensor ECT y del inyector 2.....	141
Figura 162	Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, con el motor en frío.....	142
Figura 163	Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, con el motor en caliente ...	142
Figura 164	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, en frío y caliente.....	143
Figura 165	Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, en frío y caliente.....	144

Figura 166	Reconocimiento de la falla de los sensores MAP y ECT	144
Figura 167	Oscilograma de inyección al combinar al combinar falla en alto del MAP y ECT, con el motor en frío.....	145
Figura 168	Oscilograma de inyección al combinar al combinar falla en alto del MAP y ECT, con el motor en caliente.....	145
Figura 169	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP y ECT, en frío y caliente	146
Figura 170	Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP y ECT, en frío y caliente	147
Figura 171	Reconocimiento de la falla de los sensores MAF e IAT1.....	147
Figura 172	Oscilograma de inyección al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, con el motor en frío	148
Figura 173	Oscilograma de inyección al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, con el motor en caliente	148
Figura 174	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, en frío y caliente	149
Figura 175	Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, en frío y caliente	150
Figura 176	Reconocimiento de la falla de los sensores MAP e IAT2.....	150
Figura 177	Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del MAP e IAT2, con el motor en frío.....	151
Figura 178	Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del MAP e IAT2, con el motor en caliente	151
Figura 179	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP e IAT2, en frío y caliente.....	152
Figura 180	Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP e IAT2, en frío y caliente.....	153
Figura 181	Reconocimiento de la desconexión de la válvula VBC e inyector 2	153
Figura 182	Oscilograma de inyección al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, con el motor en frío.....	153

Figura 183	Oscilograma de inyección al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, con el motor en caliente	154
Figura 184	Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, en frío y caliente	155
Figura 185	Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, en frío y caliente	155
Figura 186	Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y combinaciones de fallas	156
Figura 187	Niveles de opacidad promedio generados con DTC en los sensores	158
Figura 188	Niveles de opacidad promedio generados con DTC en actuadores	159
Figura 189	Niveles de opacidad promedio de combinaciones de DTC...	160
Figura 190	Tiempos de inyección cuando se presentan DTC en sensores	161
Figura 191	Tiempos de inyección cuando se presentan DTC en actuadores	162
Figura 192	Tiempos de opacidad al combinar DTC.....	163
Figura 193	Cronograma de actividades	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de la variable independiente 1	8
Tabla 2	Operacionalización de la variable independiente 2	9
Tabla 3	Operacionalización de la variable dependiente	9
Tabla 4	Metodología detallada del proyecto	13
Tabla 5	Descripción de la estructura de códigos DTC	48
Tabla 6	Descripción del segundo dígito del código DTC	48
Tabla 7	Descripción del tercer dígito del código DTC	49
Tabla 8	Límites máximos de opacidad en emisiones para motores diesel	56
Tabla 9	Especificaciones técnicas del opacímetro BRAIN BEE	57
Tabla 10	Especificaciones técnicas del Osciloscopio OWON PDS5022T	61
Tabla 11	Especificaciones técnicas del Scanner GScan 2	63
Tabla 12	Parámetros de tabulación de datos obtenidos en las pruebas .	65
Tabla 13	Datos para el cálculo del límite de opacidad.....	74
Tabla 14	Rangos de temperaturas establecidos para las pruebas	76
Tabla 15	Datos obtenidos en condiciones normales de funcionamiento del motor.....	81
Tabla 16	Datos obtenidos cuando el sensor ECT presenta DTC alto.....	84
Tabla 17	Datos obtenidos cuando el sensor ECT presenta DTC bajo.....	87
Tabla 18	Datos obtenidos cuando el sensor FTS presenta DTC alto	90
Tabla 19	Datos obtenidos cuando el sensor FTS presenta DTC bajo	93
Tabla 20	Datos obtenidos cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto	96
Tabla 21	Datos obtenidos cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo	99
Tabla 22	Datos obtenidos cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto ...	102
Tabla 23	Datos obtenidos cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo ..	104
Tabla 24	Datos obtenidos cuando el sensor APP presenta DTC alto....	108
Tabla 25	Datos obtenidos cuando el sensor APP presenta DTC bajo...	111
Tabla 26	Datos obtenidos cuando el sensor FRP presenta DTC alto....	113
Tabla 27	Datos obtenidos cuando el sensor FRP presenta DTC bajo...	114
Tabla 28	Datos obtenidos cuando el sensor MAP presenta DTC alto ...	115

Tabla 29	Datos obtenidos cuando el sensor MAP presenta DTC bajo ..	118
Tabla 30	Datos obtenidos cuando el sensor MAF presenta DTC alto ...	121
Tabla 31	Datos obtenidos cuando el sensor MAF presenta DTC bajo ..	124
Tabla 32	Datos obtenidos con el inyector 1 desconectado	127
Tabla 33	Datos obtenidos con el inyector 2 desconectado	129
Tabla 34	Datos obtenidos con el inyector 3 desconectado	132
Tabla 35	Datos obtenidos con el inyector 4 desconectado	135
Tabla 36	Datos obtenidos con la válvula SCV desconectada.....	138
Tabla 37	Datos obtenidos con la válvula VBC desconectada.....	139
Tabla 38	Datos obtenidos al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2	143
Tabla 39	Datos obtenidos al combinar falla en alto del MAP y ECT	146
Tabla 40	Datos obtenidos al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1	149
Tabla 41	Datos obtenidos al combinar falla en alto del MAP e IAT2	151
Tabla 42	Datos obtenidos al desconectar la válvula VBC y el inyector 2	154
Tabla 43	Recursos Humanos	164
Tabla 44	Recursos físicos.....	165
Tabla 45	Recursos materiales	165
Tabla 46	Recursos tecnológicos.....	166
Tabla 47	Recursos financieros	167

RESUMEN

Los motores diesel actuales cuentan con un sistema de inyección de riel común de combustible, lo que permite mayor rendimiento y menores emisiones contaminantes, ya que se trata de un sistema de control electrónico. Los componentes electrónicos del sistema están expuestos a posibles fallas, mismas que se conocen como DTC, cada una de estas es procesada de manera diferente por la ECU, que se encarga de controlar todo el sistema para evitar que se generen mayores daños en el motor. La investigación consiste en generar DTC alto y bajo en cada uno de los sensores y actuadores relacionados con el sistema CRDI de la camioneta Mazda BT-50, con la finalidad de analizar su incidencia en la variación de los tiempos de inyección de combustible, y en los niveles de opacidad de los gases de escape; además se desarrollan pruebas combinando dos DTC a la vez. Para el cumplimiento de este objetivo se utilizan equipos técnicos de alta tecnología, que son: osciloscopio OWON, opacímetro Brain Bee y scanner automotriz GScan2. Los oscilogramas, al igual que los niveles de opacidad obtenidos con cada falla son comparados con los valores determinados para estas variables en condiciones normales y óptimas de funcionamiento del motor; así se analiza su variación.

PALABRAS CLAVE:

- INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL - CRDI
- CÓDIGO DE FALLAS - DTC
- TIEMPOS DE INYECCIÓN
- GASES DE ESCAPE - OPACIDAD

ABSTRACT

Current diesel engines have a common rail fuel injection system, allowing higher performance and lower emissions, as it is an electronic control system. The electronic components of the system are exposed to potential faults, known as DTC, each of these is processed differently by the ECU, which is responsible for controlling the entire system to prevent further damage generated in the engine. The research is to generate high and low DTCs in each of the sensors and related actuators of the CRDI's system, of the truck Mazda BT-50, in order to analyze its impact on the variation of time fuel injection, and opacity levels of the exhaust gases; also combining two DTCs tests simultaneously develop. To fulfill this objective, high-tech technical equipment are used: OWON oscilloscope, opacimeter Brain Bee and automotive scanner GScan2. Oscillograms, like opacity levels obtained with each fault are compared with the values determined for these variables in normal and optimal operating conditions of the engine, and its variation is analyzed.

KEY WORDS:

- COMMON RAIL DIESEL – CRDI
- DIAGNOSTIC TROUBLE CODE – DTC
- INJECTION TIMES
- EXHAUST GASES - OPACITY

CAPÍTULO I

INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50, CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC”

1.1. Antecedentes

La contaminación ambiental es una de las mayores problemáticas a nivel mundial, provocada por varias fuentes, tales como: actividades industriales, actividades domésticas, y transportes, ocasionando la destrucción de la capa de ozono y de la naturaleza en general de forma progresiva y constante.

En el campo de motores diesel se han desarrollado sistemas de inyección directa, que son más eficientes en los procesos de combustión y por ende en la disminución de los niveles de contaminación que afectan al ambiente.

Según (Bosch, 2005): “La aplicación del control electrónico en los motores diesel de inyección directa permite reducir en un 10 – 20% el consumo de combustible y las emisiones de sustancias nocivas altamente contaminantes, como: Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxido de Carbono (CO), Hidrocarburos HC y partículas, gracias a la alta capacidad calculatoria de los micro controladores disponibles que generan una configuración exacta y diferenciada de las magnitudes de inyección. A la vez se conoce que la implementación de sistemas electrónicos para la asistencia del funcionamiento de motores de combustión interna produce un mejoramiento simultáneo de los parámetros característicos del motor” (p.62).

(Alarcón & Jaramillo, 2007), describen que: “Técnicos del Grupo Fiat aplicaron en automóviles el trabajo de los investigadores de la Universidad de Zurich, en la que se concentraron en desarrollar el principio del “Common-Rail”, que se basaba en la introducción del combustible a un depósito de

manera continua, lo que genera presión al interior del mismo, convirtiéndolo así en un acumulador hidráulico (Rail). Este sistema además de reducir los ruidos de combustión brinda otras ventajas, tales como el mejor rendimiento y un menor consumo” (p.4).

Para el adecuado funcionamiento de los sistemas de inyección de riel común diesel (CRDI), se utilizan: la unidad de mando (ECU), varios sensores y actuadores, que permiten comandar cada una de las etapas antes, durante y después de la inyección.

La ECU se encarga de controlar la inyección de combustible para cada uno de los cilindros, entregando la cantidad exacta que permita tener una proporción de aire y diesel estequiométrica para obtener un rendimiento óptimo en la combustión. Los sensores son elementos eléctricos que reciben información de diversas maneras, la transforman en señales eléctricas, y la transmiten a la unidad de control, que a su vez la procesa y envía señales a los actuadores para que cumplan su funcionamiento según los requerimientos del sistema en un momento específico.

Un adecuado funcionamiento del sistema de inyección con control electrónico ofrece grandes ventajas, por ello se debe brindar un mantenimiento preventivo adecuado que mantenga cada uno de sus componentes en perfecto estado; caso contrario los fallos generados en este sistema provocarán alteraciones en el proceso de la inyección de combustible, generando altos niveles de gases contaminantes emitidos al medio ambiente.

La electrónica y cada uno de sus componentes son sensibles a variaciones que pueden ser externas o internas del sistema, mismas que pueden generar fallas en el sistema CRDI que afectan la información recibida, procesada y transmitida por la ECU. Estos errores son representados por códigos conocidos como DTC (Diagnostic Trouble Code) o Código de Diagnóstico de Fallas, y pueden detectarse mediante la utilización de equipos de diagnóstico electrónico-automotriz.

Entre los componentes de los gases contaminantes emitidos por una inadecuada combustión de los motores alimentados con diesel se encuentran las partículas, cuyo componente mayoritario son los núcleos carbonosos conocidos como hollín; y sus niveles se miden con el uso de un opacímetro, que es un equipo de diagnóstico mecánico que permite determinar la opacidad de los gases emitidos por dichos motores; representando mediante un valor de porcentaje la cantidad de hollín suspendido en los gases de análisis.

En el ámbito legal del Ecuador se dispone de normas que regulan las emisiones permitidas por los vehículos diesel, como:

- NTE INEN 2207:2002, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL.
- NTE INEN 2202:2013, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTÁTICA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE.

1.2. Planteamiento del problema

La investigación se desarrolló debido a la problemática de la contaminación ambiental y a los altos niveles de opacidad, provocados por un inadecuado funcionamiento del sistema de control electrónico CRDI.

El incumplimiento de la normativa vigente en cuanto a niveles de opacidad permitidos por los vehículos en función del año de fabricación ha venido contribuyendo a un crecimiento continuo de la degradación del ambiente en el Ecuador y nivel mundial.

La aplicación de avances tecnológicos en el campo automotriz y la complejidad de la electrónica de sistemas de inyección diesel permite reducir significativamente los niveles contaminantes producidos por el funcionamiento de estos motores, pero sin embargo al no estar a punto los vehículos van a generarse códigos de averías en los componentes del sistema, produciendo un control inadecuado de la dosificación de combustible y por ende contribuyendo nuevamente a la contaminación ambiental.

Considerando que existen altos niveles de gases contaminantes con partículas suspendidas producidos por los motores alimentados con diesel es necesario que exista personal capacitado en sistemas CRDI y en la utilización de equipo de diagnóstico automotriz adecuado, para que los vehículos estén en perfectas condiciones de funcionamiento, pudiendo trabajar con el cumplimiento de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2207:2002, reduciendo los índices de contaminación del ambiente.

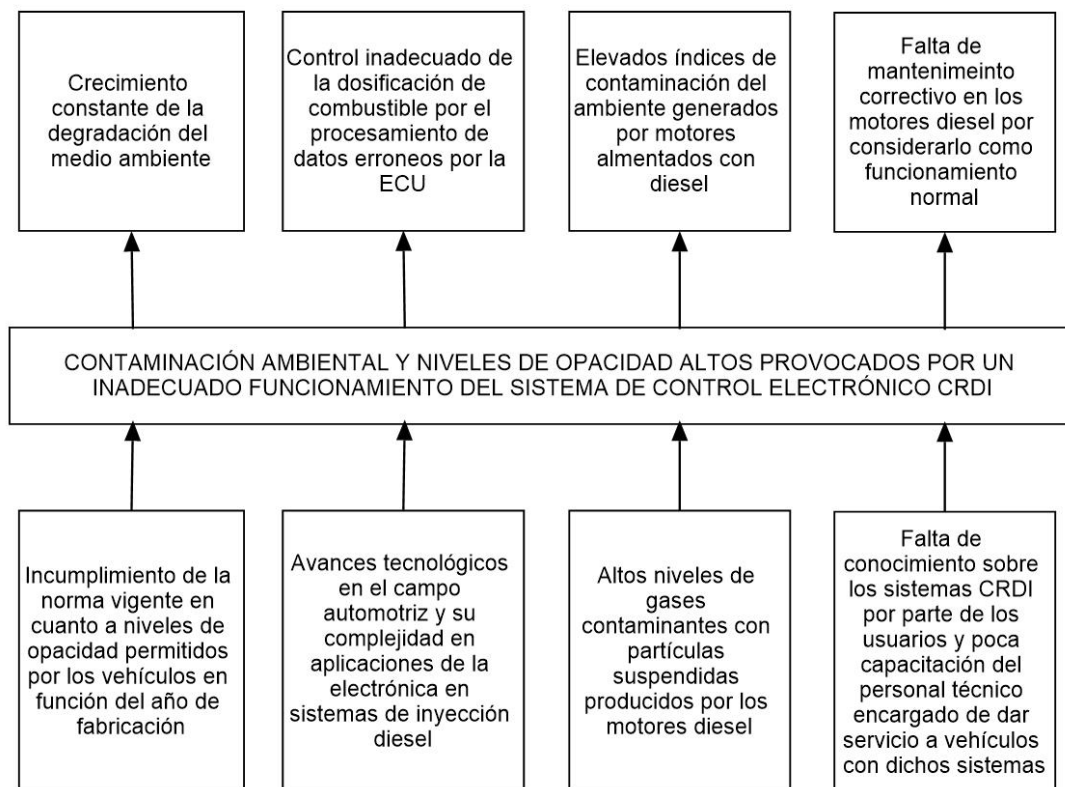


Figura 1 Árbol de problema

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación se desarrolló en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, Campus Belisario Quevedo, ubicado a una altura de 2907 msnm aproximadamente (valor obtenido con la aplicación Altímetro Exacto libre v1.15), dato que permitió conocer varios parámetros para determinar las condiciones del medio en el que se realizó dicha investigación

Todas las pruebas y mediciones se realizaron en condición de aceleración libre, de acuerdo a lo que estima la norma NTE INEN 2202:2013.

Se obtuvo datos y oscilogramas de los inyectores CRDI considerando voltajes, corrientes, tiempos de pre inyección, inyección principal, post inyección, determinando los datos de información del programa que se generen en estas condiciones.

Se midió los niveles de opacidad generados en diferentes condiciones relacionando los PIDs de revoluciones, en condiciones normales de funcionamiento.

Se generaron códigos de falla altos y bajos en sensores y actuadores relevantes del sistema de control electrónico CRDI de la camioneta Mazda BT-50 para establecer la influencia sobre los tiempos de inyección y los niveles de opacidad.

Con cada uno de los DTC se obtuvo oscilogramas de los inyectores mediante el uso del osciloscopio automotriz, que permitieron analizar la incidencia de estos en los tiempos de inyección de combustible. A la vez se midió el nivel de opacidad con la ayuda de un opacímetro, con lo que se estableció el grado de contaminación ambiental generado en cada condición.

Al final de la investigación se elaboró un documento técnico académico en el que se detalla el efecto que se produce sobre la opacidad y los tiempos de

inyección ante la presencia de los códigos de fallas generados en el sistema CRDI, estimando de esta manera una base de datos para diagnóstico.

1.4. Justificación e importancia

Según cifras del Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (2013) en su publicación *Índice anuario de transporte* en el Ecuador en dicho año, el campo automotor estaba conformado por más de 1,7 millones de vehículos, de los cuales alrededor de 187000 corresponde a aquellos alimentados con diesel, representando al 11,7%.

Sabiendo que su utilización en el medio está en constante crecimiento y que actualmente presentan diversas actualizaciones tecnológicas, en la que se incluye el sistema de inyección CRDI que abarca cada vez un espacio más amplio en el mercado, es necesario e imprescindible mantenerse al tanto de la información técnica especializada que permita dar un uso y mantenimiento adecuado. Por lo que generar nueva información sobre esta tecnología permitirá extender el limitado material técnico con que se cuenta sobre estos nuevos sistemas.

Dado que los sistemas de riel común de diesel son manejados electrónicamente, la ECU se basa en señales de sensores, por lo que el incorrecto funcionamiento de estos componentes ocasiona un código de falla o DTC, que provoca alteraciones en la combustión y por ende en los niveles de opacidad de los gases de escape.

El aporte de la investigación permitió obtener un manual técnico científico acerca de averías de tipo electrónico de sistemas de riel común ocasionadas por fallas de sensores y actuadores, representados mediante códigos de fallas, que ayuden a disminuir la contaminación y opacidad en función de los ajustes en los tiempos de inyección, permitiendo identificar aquellas fallas que generarían emisiones contaminantes fuera de los estándares establecidos por la norma ecuatoriana, en este caso la NTE INEN 2207:2002 que establece los

límites máximos de opacidad para fuentes móviles terrestres con motor diesel, no mayor al 50% para vehículos del año 2000 y posteriores.

1.5. Objetivo general

Analizar la incidencia de los tiempos de inyección y opacidad en un sistema de inyección de riel común diesel CRDI de la camioneta Mazda BT-50, cuando se generan códigos de fallas DTC, mediante el uso de equipo especializado de diagnóstico automotriz, para establecer un documento técnico de alta rigurosidad académica que sirva como referencia de consulta en el campo de motores diesel.

1.6. Objetivos específicos

- Consultar información bibliográfica y datos técnicos que permitan un manejo adecuado de los equipos y el desarrollo del trabajo práctico.
- Desarrollar el protocolo de pruebas para la estimación de tiempos de activación de los inyectores y opacidad.
- Seleccionar los equipos de verificación y comprobación que disponen tecnología de punta para el desarrollo de la investigación.
- Generar los códigos de fallas DTC en el subsistema de control electrónico para obtener características referentes a tiempos de activación de los inyectores y opacidad.
- Tabular los datos obtenidos, para generar un registro de las variaciones en los tiempos de inyección, en los niveles de opacidad y su influencia en los datos de información de programa del sistema CRDI.

1.7. Metas

Generar un documento técnico de alta rigurosidad académica que sirva como referencia de consulta y diagnóstico automotriz en el campo de motores diesel con sistemas CRDI, en el período de un año.

1.8. Hipótesis

La investigación relacionada a estimación de tiempos de inyección y niveles de opacidad permitirá obtener información relevante relacionada con el comportamiento de los sistemas CRDI cuando se genera códigos de falla.

1.9. Variables de investigación

1.9.1. Variable independiente

- Tiempos de inyección de combustible.

Tabla 1
Operacionalización de la variable independiente 1

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Período en que la tobera del inyector está abierta y el combustible fluye dentro de la cámara de combustión. Se especifica en grados del cigüeñal o del árbol de levas, o en milésimas de segundo.	Condiciones ambientales	Temperatura	°C	Medición	Termómetro digital Scanner automotriz
	Régimen	Velocidad del motor	rpm	Medición	Osciloscopio OWON Scanner automotriz
	Daños del sistema de inyección electrónica	Códigos de fallas	High Low	Generación	Scanner automotriz

- Nivel de opacidad en sistemas CRDI.

Tabla 2
Operacionalización de la variable independiente 2

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Fracción de la luz expresada en porcentaje (%), que al ser enviada desde una fuente se le impide llegar al receptor del instrumento observador y que se expresa en función de la transmitancia.	Contaminación ambiental	Coefficiente de absorción de luz	m ⁻¹	Medición	Opacímetro
	Condiciones ambientales	Temperatura	°C	Medición	Termómetro digital Scanner automotriz
	Régimen	Velocidad del motor	rpm	Medición	Osciloscopio Scanner automotriz
	Sistema de inyección electrónica	Códigos de fallas	High Low	Generación	Scanner automotriz

1.9.2. Variable dependiente

- Documento técnico científico como fuente de consulta de sistemas CRDI.

Tabla 3
Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Documento que permita exponer información detallada para el diagnóstico técnico de la parte electrónica del sistema de inyección de Riel Común diesel.	Sistema de inyección electrónica	Códigos de fallas	High Low	Medición	Scanner automotriz
	Contaminación ambiental	Opacidad	%	Medición	Opacímetro
	Alimentación de combustible	Tiempos de inyección	ms	Programación	Osciloscopio

1.10. Metodología de la investigación

- **Método deductivo**

Dado que la investigación se enfocó en el impacto ambiental de las emisiones contaminantes generadas por los transportes, se analizaron los niveles de emisiones que generan tomando como muestra vehículos livianos de motor diesel con sistemas CRDI, representado por los estudios realizados en la camioneta Mazda BT-50.

- **Método inductivo**

Se utilizó este método, pues la investigación se desarrolló en una camioneta de marca Mazda, modelo BT-50, con sistema de inyección de riel común diesel, por lo que los resultados y conclusiones generadas son aplicables para todos los vehículos de motor diesel livianos que cuenten con un sistema de inyección de este tipo.

- **Método analítico**

En la investigación se aplicó este método debido a que se generaron fallas en sensores y actuadores representativos del sistema CRDI, obteniendo datos y valores de su incidencia en los tiempos de inyección, el nivel de opacidad, relacionado con los PIDs a diferentes revoluciones, en condiciones de códigos de falla tanto altos como bajos, los mismos que se analizaron y relacionaron a las diferentes condiciones que se generaron en la parte experimental.

- **Método de síntesis**

Se aplicó en el desarrollo del documento técnico especializado donde convergen los resultados de las pruebas realizadas por el método experimental bajo condiciones específicas. El documento resultante, se obtuvo de las pruebas y mediciones realizadas, presentando la información de manera ordenada y sintetizada, lo que permite una fácil asimilación y entendimiento de la misma.

- **Método experimental**

La metodología a utilizar es experimental ya que se desarrollaron mediciones y pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas de funcionamiento, que permitan el análisis de la variación de los tiempos de inyección y los niveles de opacidad cuando se generen códigos de fallas en los sensores y actuadores representativos del sistema CRDI, para así elaborar un documento técnico de alta rigurosidad académica para consulta y diagnóstico automotriz.

- **Método comparativo**

El método comparativo permite establecer variaciones de los parámetros analizados basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor, y pruebas desarrolladas bajo las diferentes condiciones de falla ya sea de los sensores o de actuadores representativos del sistema CRDI.

- **Método de observación directa**

El método de observación directa permitió realizar la verificación visual de las variaciones que esta investigación busca establecer, sobre todo en los gases de escape que en función de la opacidad servirán como indicador de la variación en las condiciones de funcionamiento del motor.

- **Método de medición**

Con el método de medición se realizó el protocolo de pruebas para la ejecución de la investigación en base a la norma NTE INEN 2022:2013, se determinó las unidades estandarizadas, tomando en cuenta las escalas de los equipos.

- **Método de matematización**

Una vez obtenidos los resultados de la investigación mediante números, es necesario la generalización del aspecto cuantitativo de los fenómenos analizados, donde se consideró las variaciones de tiempos de inyección y de niveles de opacidad para las diferentes condiciones establecidas en las pruebas.

- **Método de análisis de contenido**

Dada la limitada información sobre este tipo de sistemas de inyección, el método de análisis de contenido es indispensable para estudiar con detenimiento la bibliografía obtenida, descomponiendo su contenido en las unidades de información necesarias para el manejo y asimilación de la misma, pudiendo así tener un dominio completo sobre ella.

Tabla 4
Metodología detallada del proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Deductivo	Dado que la investigación se enfocó en el impacto ambiental de las emisiones contaminantes generadas por los transportes, se analizaron los niveles de emisiones que generan tomando como muestra vehículos livianos de motor diesel con sistemas CRDI, representado por los estudios realizados en la camioneta Mazda BT-50.	Camioneta Mazda BT-50	Escuela de Conducción – ESPE
Inductivo	Se utilizó este método, pues la investigación se desarrolló en una camioneta de marca Mazda BT-50, con sistema de inyección de riel común diesel, por lo que los resultados y conclusiones generadas son aplicables para todos los vehículos de motor diesel livianos que cuenten con un sistema de inyección de este tipo.	Osciloscopio OWON Opacímetro Brain Bee	Autotrónica
Analítico	En la investigación se aplicó este método debido a que se generaron fallas en sensores y actuadores representativos del sistema CRDI, obteniendo datos y valores de su incidencia en los tiempos de inyección, el nivel de opacidad, relacionado con los PIDs a diferentes revoluciones, en condiciones de códigos de falla tanto altos como bajos, los mismos que se analizaron y relacionaron a las diferentes condiciones que se generaron en la parte experimental.	Computador personal Osciloscopio OWON Opacímetro Brain Bee	Autotrónica
Síntesis	Se aplicó en el desarrollo del documento técnico especializado donde convergen los resultados de las pruebas realizadas por el método experimental bajo condiciones específicas. El documento resultante, se obtuvo de las pruebas y mediciones realizadas, presentando la información de manera ordenada y sintetizada, lo que permite una fácil asimilación y entendimiento de la misma.	Computador personal	
Experimental	La metodología a utilizar es experimental ya que se desarrollaron mediciones y pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas de funcionamiento, que permitan el análisis de la variación de los tiempos de inyección y los niveles de opacidad cuando se generen códigos de fallas en los sensores y actuadores representativos del sistema CRDI, para así elaborar un documento técnico de alta rigurosidad académica para consulta y diagnóstico automotriz.	Scanner GScan-II Osciloscopio OWON Opacímetro Brain Bee	Autotrónica

CONTINÚA 

Comparativo	El método comparativo permite establecer variaciones de los parámetros analizados basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor, y pruebas desarrolladas bajo las diferentes condiciones de falla ya sea de los sensores o de actuadores representativos del sistema CRDI.	Computador personal	
Observación directa	El método de observación directa permitió realizar la verificación visual de las variaciones que esta investigación busca establecer, sobre todo en los gases de escape que en función de la opacidad servirán como indicador de la variación en las condiciones de funcionamiento del motor.	Camioneta Mazda BT-50 Opacímetro Brain Bee	Escuela de Conducción - ESPE Autotrónica
Medición	Con el método de medición se realizó el protocolo de pruebas para la ejecución de la investigación en base a la norma NTE INEN 2022:2013, se determinó las unidades estandarizadas, tomando en cuenta las escalas de los equipos.	Scanner GScan-II Osciloscopio OWON Opacímetro Brain Bee	Autotrónica
Matematización	Una vez obtenidos los resultados de la investigación mediante números, es necesario la generalización del aspecto cuantitativo de los fenómenos analizados, donde se consideró las variaciones de tiempos de inyección y de niveles de opacidad para las diferentes condiciones establecidas en las pruebas.	Computador personal	
Análisis de contenido	Dada la limitada información sobre este tipo de sistemas de inyección, el método de análisis de contenido es indispensable para estudiar con detenimiento la bibliografía obtenida, descomponiendo su contenido en las unidades de información necesarias para el manejo y asimilación de la misma, pudiendo así tener un dominio completo sobre ella.	Computador personal	

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN MOTORES DIESEL

En los motores diesel la forma de la cámara de combustión y de la cámara de pistón, son diseñadas para favorecer la combustión mejorando así el rendimiento. Según lo mencionado existen los siguientes tipos:

(Ocaña, 2001) menciona: “Los motores de inyección directa (DI), en los que el combustible es inyectado directamente en la cámara de combustión. Para mejorar el rendimiento el pistón presenta una concavidad esférica, hemisférica, cónica o toroidal, que así mismo hace que el combustible no se pueda diluir en el lubricante de engrase ni provocar su escurrimiento en el cilindro. Estas formas impiden que la expansión sea irregular. La presión de inyección ha de ser elevada (entre 150 y 400 Bar) para permitir que el combustible penetre lo suficiente en la cavidad en la cual el aire está comprimido, alrededor de 35 Bar. Una presión de inyección más débil produciría una incorrecta pulverización, la mezcla con el aire sería insuficiente y la combustión no sería completa.

Este sistema es usado en vehículos pesados donde las trepidaciones de funcionamiento tienen poca importancia, además de no precisar elementos de calentamiento para el arranque y ser la de mejor rendimiento. Desde 1994 se aplica a los turismos tras largos años de investigación, consiguiéndose un funcionamiento suave y de alto rendimiento con la aparición de la TDi (Turismos Directa Inyección).”(p.433)

Según (Ocaña, 2001) existen tres tipos de inyección directa:

- Sistema con cámara de pre-combustión (pre-cámara o antecámara).
- Sistema con cámara de turbulencia (combustión separada aparte o cámara auxiliar).
- Sistema con cámara de reserva de aire (acumulador de aire).”(p.435)

Como afirma (Bosch, 2005): “En los motores diesel con cámara de combustión dividida, la presión de combustión creciente expulsa la carga de la cámara previa o la cámara de turbulencia (cámara de combustión secundaria) a la cámara de combustión principal. Este proceso se produce a elevadas velocidades del aire en la cámara de combustión secundaria y en el conducto de conexión entre la cámara de combustión secundaria y la cámara de combustión principal.”(p. 50).

2.1. Parámetros de inyección

2.1.1. Inicio de la inyección

Este parámetro, según afirma (Castillejo, 2014): “Especifica la posición del cigüeñal, en grados con respecto a la posición del mismo en el PMS (Punto Muerto Superior), en la que abre la tobera del inyector y se inyecta el combustible dentro de la cámara. La posición del pistón relativa al PMS en ese momento, además de la densidad y temperatura del aire, influye en el flujo de aire dentro de la cámara de combustión. De acuerdo a esto, el grado de mezcla de aire y combustible depende también del inicio de la inyección. Por tanto, el inicio de la inyección afecta a las emisiones de elementos como partículas, óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO).

El punto de inicio de inyección varía de acuerdo a la carga, la velocidad y la temperatura del motor.

Comparado con los sistemas controlados por leva, los sistemas “Common Rail” ofrecen un mayor grado de libertad para elegir la cantidad, el instante y la presión de inyección. Como la presión del combustible se genera por una bomba de alta presión separada y la inyección se controla por un solenoide o un actuador piezoeléctrico, es posible optimizar la inyección para cada punto de operación con el sistema de control del motor.” (p.13)

Las variaciones que se pueden presentar en el inicio de la inyección pueden ser:

- Inicio de la inyección avanzado.- La mayor temperatura alcanzada durante la compresión se da un poco antes del PMS del pistón. Si la combustión se inicia mucho antes del PMS, la presión crece bruscamente y actúa como una fuerza que se opone a la carrera de ascenso del pistón. La pérdida de calor en el proceso disminuye la eficiencia del motor y, por tanto, aumenta el consumo de combustible. La elevación brusca de la presión de compresión hace también que la combustión sea más ruidosa. El mayor incremento de temperatura como consecuencia del inicio de inyección avanzado tiene como consecuencia un aumento de los niveles de NOx en los gases de escape y reducción de los HC.
- Inicio de la inyección retardado.- En condiciones de baja carga, el inicio de la inyección retardado puede dar como resultado una combustión incompleta y, por tanto, un incremento en las emisiones de hidrocarburos no combustionados y de monóxido de carbono, ya que la temperatura en la cámara de combustión desciende notablemente. El compromiso para compensar, por un lado, el consumo específico de combustible y las emisiones de hidrocarburos, y por el otro, las emisiones de partículas y NOx, hacen que la tolerancia sea muy pequeña cuando se modifica el inicio de inyección para ajustarlo a un determinado motor. (Castillejo, 2014, p. 14)

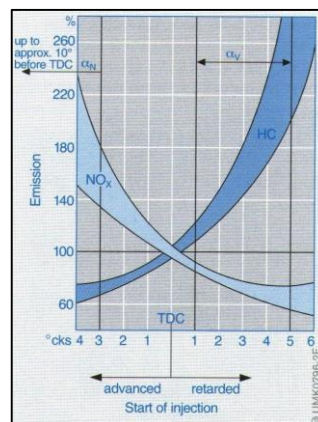


Figura 2 Emisiones de NOx y HC en función del inicio de inyección
Fuente: (Castillejo, 2014)

2.1.2. Curva de la inyección

(Castillejo, 2014) afirma que: “En los sistemas de riel común una bomba genera la presión necesaria en el combustible independientemente del ciclo de inyección. Esta presión se mantiene prácticamente constante durante el proceso de inyección. En un sistema con una determinada presión, la cantidad de combustible inyectado es proporcional al tiempo que el inyector permanece abierto, y esto es independiente de la velocidad del motor o de la bomba.

Esto tiene como resultado una curva de inyección casi cuadrada con inyecciones de corta duración y casi constantes, con altas velocidades de pulverización a plena carga que permiten incrementar la potencia específica del motor.

Sin embargo, un alto caudal al principio de la inyección (durante el retraso de encendido) no es beneficioso, en el sentido en que hace que la presión en la cámara de combustión crezca bruscamente y el proceso de combustión sea más ruidoso. Por eso, como la inyección se puede controlar de forma precisa, se pueden realizar hasta dos preinyecciones. Con esto se consigue precondicionar la cámara de combustión, haciendo que la presión crezca de forma más progresiva, reduciendo el tiempo de retraso de la inyección y, por tanto, consiguiendo reducir al mínimo el ruido de la combustión y la formación de NO_x . Esto es posible debido al control electrónico sobre los inyectores que permite variar la curva de inyección en función de las condiciones de operación.” (p.20)

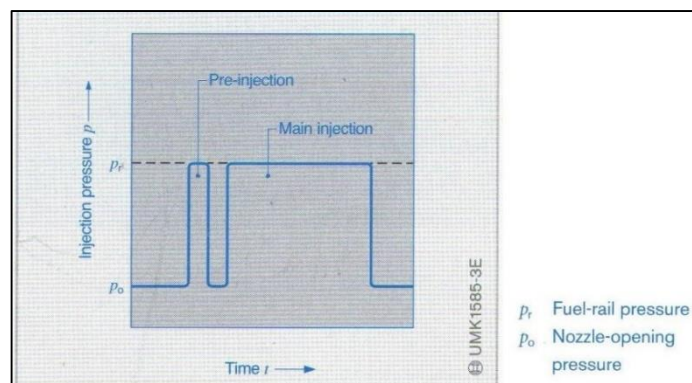


Figura 3 Curva de inyección de un sistema Common Rail

Fuente: (Castillejo, 2014)

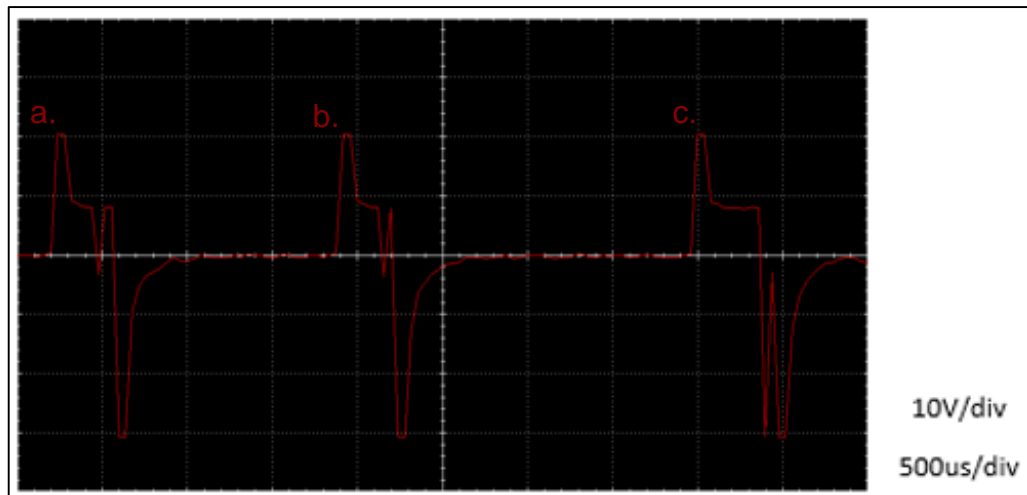


Figura 4 Curva de voltaje de un inyector diesel CRDI

- a. Pre-inyección
- b. Inyección principal
- c. Post-inyección

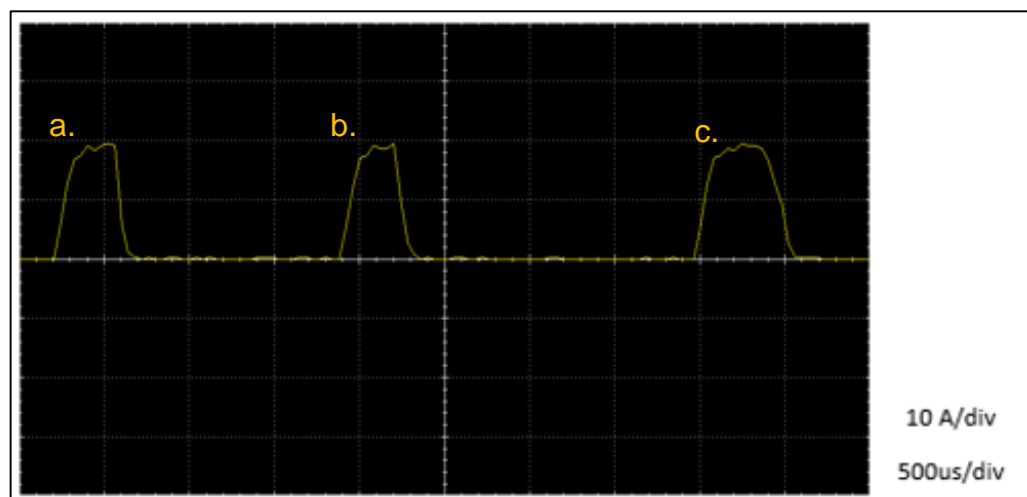


Figura 5 Curva de corriente de un inyector diesel CRDI

- a. Pre-inyección
- b. Inyección principal
- c. Post-inyección

2.1.3. Patrones de inyección

Dependiendo de la aplicación para la que esté destinado el motor, se presentan las siguientes funciones (ver Figura 6):

- Pre-inyección (1): reduce el ruido de la combustión y las emisiones de NOx, especialmente en los motores de inyección directa.

- Gradiente positivo de inyección durante la inyección principal (3): reduce emisiones de NOx en motores sin válvula EGR.
- Gradiente de presión en dos etapas (4): durante la inyección principal reduce las emisiones de NOx y partículas en motores sin EGR.
- Alta presión constante durante la inyección principal (3,7): reduce las emisiones de partículas durante la operación en motores con EGR.
- Inyección secundaria avanzada (8): reduce las emisiones de partículas.
- Inyección secundaria avanzada (9).

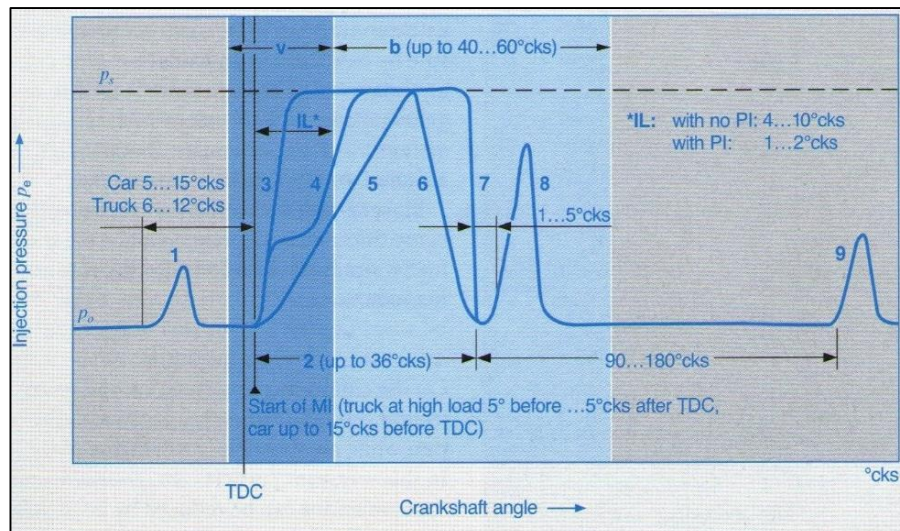


Figura 6 Patrones de inyección
Fuente: (Bosch, 2005)

2.1.4. Inyecciones diesel

En los motores alimentados con diesel se pueden presentar diferentes números de inyecciones, variando esto según los requerimientos generados en el funcionamiento de los motores.

- **Pre-inyección**

Como afirma (Castillejo, 2014): “Consiste en la inyección de una pequeña cantidad de combustible (aprox. 1 mg), que se quema durante la fase de compresión. Con esto se consigue que aumente la presión y la temperatura en el punto en el que se produce la inyección principal, con lo cual se reduce el retardo de encendido de la inyección principal. Se reduce el aumento de la presión de combustión y los picos de presión, lo que se traduce en una combustión más suave y menos ruido del motor. Esto además tiene un efecto positivo sobre la reducción del consumo y de las emisiones contaminantes (NO_x fundamentalmente).

La inyección previa contribuye indirectamente, a la generación de par motor, mediante la reducción del retardo de encendido. En función del comienzo de la inyección principal y de la separación entre la inyección previa y la inyección principal, puede aumentar o disminuir el consumo específico de combustible.

Por otro lado, las altas temperaturas en la cámara de combustión son favorables para el arranque en frío y cuando el motor trabaja en el rango de baja carga, ya que estabilizan la combustión y reducen las emisiones de HC y CO.

De nuevo se presenta un compromiso entre la reducción de ruido y de las emisiones de NO_x, lo que hace que haya que ajustar el intervalo entre pre-inyección e inyección principal, y la cantidad de combustible pre-inyectado en función del punto de operación.” (p.22)

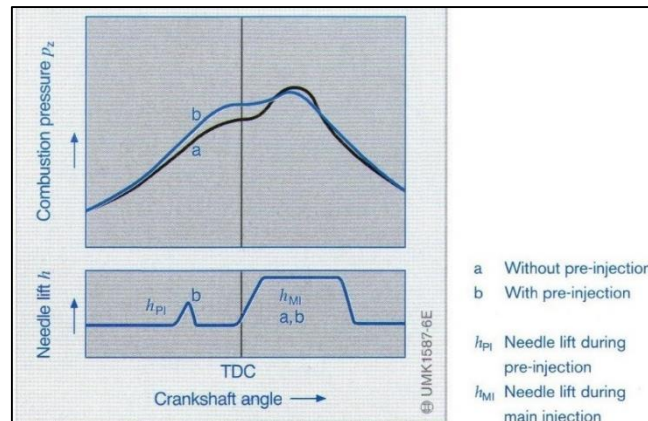


Figura 7 Efecto de la pre-inyección en la presión de la cámara de combustión
Fuente: (Castillejo, 2014)

- **Inyección secundaria retardada**

“Esta fase transcurre tras la inyección principal, durante la carrera de expansión o de escape (hasta 200° del cigüeñal después del PMS). Se inyecta una cantidad precisa de combustible en los gases de escape. El combustible inyectado en esta etapa no combustiona, pero se evapora por el calor residual de los gases de escape. La mezcla resultante se expulsa durante la carrera de escape. La combustión de los hidrocarburos de esta mezcla genera también un incremento de la temperatura de los gases de escape por la oxidación en el acumulador catalítico. Esta medida tiene como objetivo regenerar el filtro de partículas y el acumulador de NOx.

- **Inyección secundaria avanzada**

En los sistemas Common-Rail, la inyección secundaria transcurre directamente después de la inyección principal cuando aún se está produciendo la combustión. Esto hace que se quemen las partículas de hollín, consiguiendo reducir estas emisiones entre un 20 y un 70%.” (Castillejo, 2014, p. 23)

2.2.Regulación electrónica Diesel (EDC)

(Bosch, 2002) menciona que: “El desarrollo de motores diesel cada vez más eficientes, potentes y menos contaminantes incluye la intervención de una administración electrónica, que se aplica en la recopilación y procesamiento de datos de manera regular, con lo cual se mantiene un control sobre las variables dentro de los procesos de combustión. La regulación mecánica de los sistemas de inyección Diesel se va sustituyendo cada vez más por la regulación electrónica Diesel (EDC). Los nuevos sistemas de inyección de los turismos y vehículos industriales son regulados exclusivamente por EDC.” (p.4)

Los sistemas de control electrónico diesel son cada vez más usados, en sus distintas variantes, como en los sistemas de inyección EUI, HEUI, sistemas de riel común entre otros, estos comparten una estructura básica de que consta de tres grupos: sensores, unidad de control y actuadores.

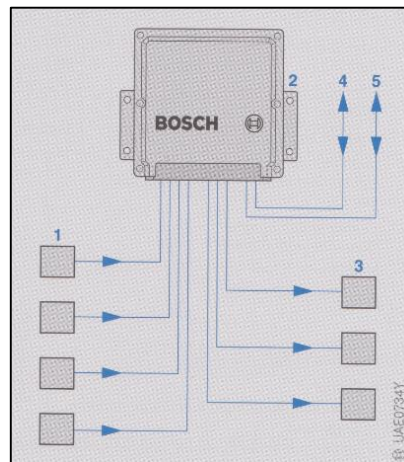


Figura 8 Parte principal del EDC
Fuente: (Bosch, 2002)

“Los sensores son elementos que permiten detectar el estado de servicio, convirtiendo las magnitudes físicas en señales que pueden ser procesadas y entendidas por las diferentes unidades de control que puedes intervenir en la administración de dichos motores.” (Bosch, 2002, p. 13)

Para motores con sistemas de inyección diesel CRDI que forman parte de una regulación electrónica, cuentan con una serie de sensores propios de

estos sistemas que se especificarán a continuación, enfocándose a aquellos que monitorean el estado y comportamiento de motores con riel de inyección directa.

2.2.1. Sensores de temperatura

Según (Bosch, 2002): “Dentro de un cuerpo se monta una resistencia termosensible, de material semiconductor. Normalmente tiene un coeficiente de temperatura negativo (NTC), es decir que su resistencia reduce drásticamente al aumentar la temperatura. La resistencia forma parte de un circuito divisor de tensión alimentado con 5V. La tensión que se mide en la resistencia depende por lo tanto, de la temperatura. La unidad de control tiene una curva característica que indica la temperatura correspondiente a cada valor de resistencia o tensión de salida”. (p.21)

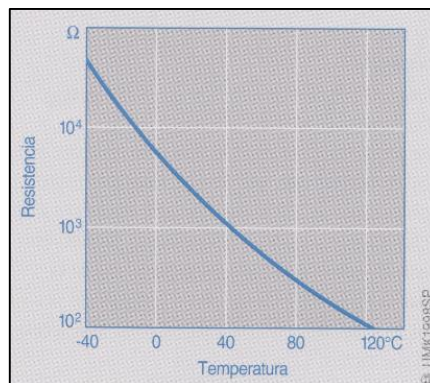


Figura 9 Curva característica de un sensor de temperatura NTC
Fuente: (Bosch, 2002)

(Bosch, 2002), además describe los siguientes sensores de temperatura:

a. Sensor de temperatura del motor

“Este sensor montado en el circuito del líquido refrigerante, con el fin de determinar la temperatura del motor a partir de la temperatura del refrigerante (campo de medición -40... +130°C).

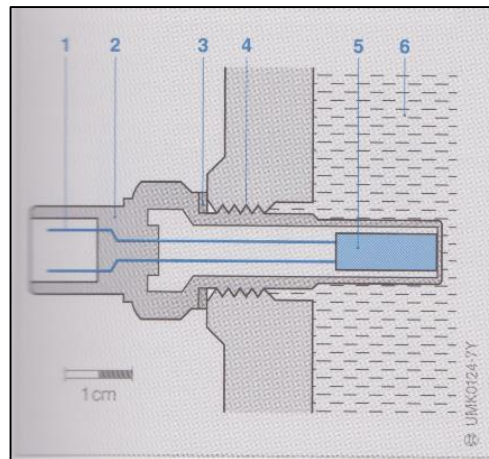


Figura 10 Sensor de temperatura del líquido refrigerante
Fuente: (Bosch, 2002)

b. Sensor de temperatura del aire

Se ubica en el tramo de admisión registra la temperatura del aire aspirado con la que es posible calcular, en combinación con un sensor de presión de sobrealimentación, la masa de aire aspirada. Además de ello se pueden adaptar valores teóricos para circuitos reguladores (p.ej. realimentación de gases de escape, regulación de la presión de sobrealimentación) a la temperatura del aire (campo de medición $-40... +120^{\circ}\text{C}$).

c. Sensor de temperatura del aceite de motor

La señal del sensor de temperatura del aceite de motor se emplea para calcular los intervalos de servicio (campo de medición $-40... +170^{\circ}\text{C}$).

d. Sensor de temperatura del combustible

Se instala en la zona de baja presión del combustible diesel. Con la temperatura de éste se puede calcular con exactitud el caudal inyectado (campo de medición $-40... +120^{\circ}\text{C}$).

e. Sensor de temperatura de los gases de escape

Este sensor se encuentra en puntos térmicamente críticos del sistema de escape. Se emplea también para regular sistemas de tratamiento ulterior de los gases de escape. La resistencia de medición es generalmente de platino (campo de medición $-40... +1000^{\circ}\text{C}$).” (p.21)

2.2.2. Sensores de presión

Como afirma (Bosch, 2002): “La presión se mide directamente, por deformación de una membrana o por un sensor de fuerza. La magnitud de medición “presión” se manifiesta en los gases y líquidos como efecto de fuerza no dirigible, es decir, que actúa en todas las direcciones”. (p.78)

a. Sensor de presión de admisión o de presión de sobrealimentación

“Este sensor mide la presión absoluta reinante en el tubo de admisión entre el compresor y el motor (habitualmente 2,5 bares) respecto a un vacío de referencia y no respecto a la presión ambiente. De este modo es posible determinar la masa de aire con toda exactitud y regular la presión de sobrealimentación con arreglo a la necesidad del motor.” (Bosch, 2002, p. 82)

b. Sensor de presión de riel

“En el Common Rail miden la presión del combustible en el acumulador de alta presión. El cumplimiento exacto de la presión del combustible prefijada en el Rail es de gran importancia para la composición de los gases de escape y la potencia del motor. La presión de combustible se controla en un circuito de regulación. Las posibles variaciones del valor se igualan mediante una válvula de control o una válvula de regulación. La precisión de medición se

encuentra por debajo del 2% del alcance de medición en el campo principal de servicio.

En los sistemas de inyección de acumulación diesel “*Common Rail*”, la presión máxima de trabajo P_{max} (presión nominal) es de 1600 bares.” (Bosch, 2002, p. 25)

2.2.3. Sensor de revoluciones

(Bosch, 2002) afirma que: “Los sensores de revoluciones del motor (sensores de varilla), también llamados transmisores de revoluciones, se emplean para:

- Medir el número de revoluciones del motor.
- Detectar la posición del cigüeñal (posición de los pistones del motor).

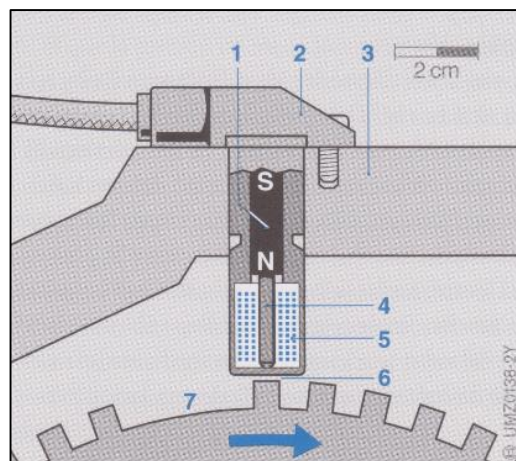


Figura 11 Estructura del sensor de revoluciones inductivo
Fuente: (Bosch, 2002)

El número de revoluciones se calcula mediante el intervalo de tiempo entre las señales del sensor. La señal de este sensor es una de las magnitudes más importantes del control electrónico del motor.” (p.26)

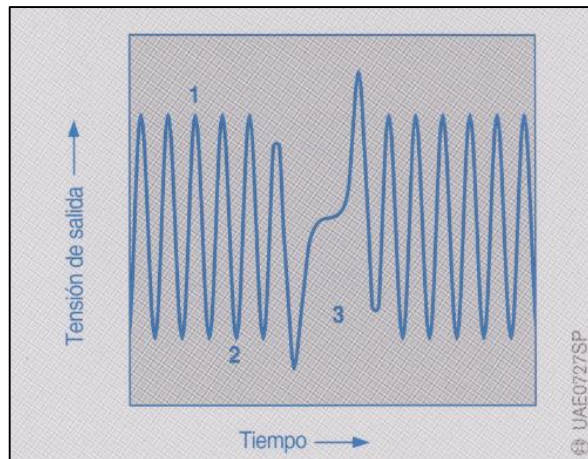


Figura 12 Señal de un sensor de revoluciones inductivo
Fuente: (Bosch, 2002)

2.2.4. Sensores de posición

a. Sensor el pedal del acelerador

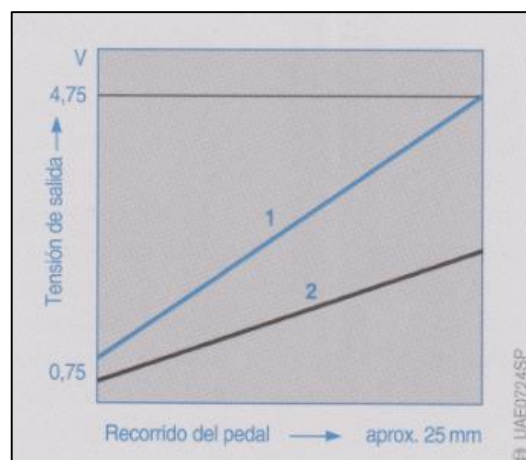


Figura 13 Línea característica de un sensor de pedal acelerador con potenciómetro redundante
Fuente: (Bosch, 2002)

Según describe (Bosch, 2002): “El deseo de aceleración, de marcha constante o de reducir la velocidad lo manifiesta el conductor en un motor de mando convencional accionándolo con el pedal acelerador a la válvula mariposa o a la bomba de inyección. Cuando el motor está equipado con un sistema de mando electrónico, un sensor de pedal acelerador (también

llamado transmisor de posición del pedal) realiza la función de la unión mecánica. El detecta el recorrido o la posición de angular del pedal y lo transmite eléctricamente a la unidad de control del motor.” (p.32)

2.2.5. Unidad de control

Este elemento del sistema de control electrónico es descrito por (Bosch, 2002) como aquel que: “Procesa la información de los sensores y transmisores de valores teóricos conforme a determinados procesos de cálculo matemático (algoritmos de control y regulación). Ella activa los elementos actuadores mediante señales de salida eléctricas. La unidad de control viene a ser además el interface para otros sistemas y para diagnóstico del vehículo.” (p.38)

- **Procesamiento de datos**

(Bosch, 2002) menciona que: “Los sensores junto con los actuadores constituyen, como periferia, el interface entre el vehículo y la unidad de control como unidad de procesamiento. Las señales eléctricas de los sensores se conducen a la unidad de control a través de un mazo de cables y el enchufe de conexión.” (p.38)

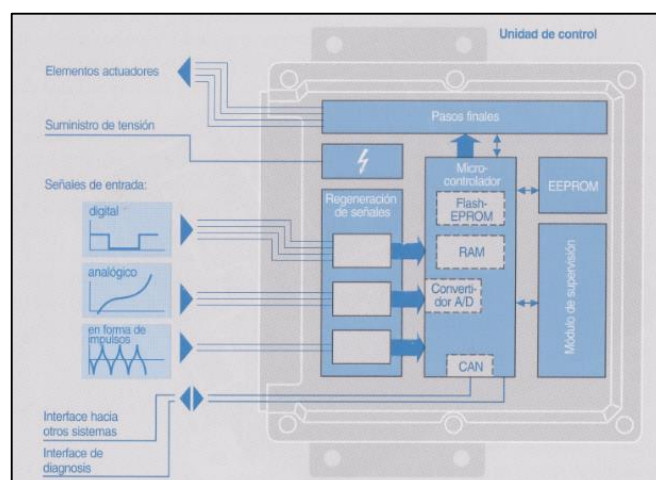


Figura 14 Procesamiento de señales en la unidad de control

Fuente: (Bosch, 2002)

- **Tipos de señales**

Para (Bosch, 2002), las señales se clasifican en las siguientes:

a. Señales de entrada analógicas

“Este tipo de señales pueden tomar cualquier valor de tensión en los intervalos de funcionamiento normal establecido para el mismo. Estos valores son procesados en un convertidor analógico-digital (A/D) para que el microcontrolador reciba datos con los que puede operar. La resolución de este tipo de señales se da en variaciones de 5mV por bit.

b. Señales de entrada digitales

La señal de este tipo de entrada maneja dos estados, alto (1 lógico) y bajo (0 lógico). Los sensores de tipo Hall son los más conocidos de este tipo. Y el microprocesador puede operar directamente con este tipo de información.

c. Señales de entrada en forma de impulsos

Proviene de sensores inductivos, y los impulsos brindan información sobre el número de revoluciones y la marca de referencia se regenera en una parte propia del circuito de la unidad de control. A la vez se suprimen impulsos parásitos y se transforman los impulsos a una señal cuadrada.” (pp.38-39)

2.2.6. Elementos actuadores

Son aquellos que se encargan de transformar las señales eléctricas de salida de la unidad de control en magnitudes mecánicas.

Según (Bosch, 2002): “La válvula de la presión rail, y, dado el caso, un estrangulador delante de la bomba de alta presión, determinarán la presión de del combustible en el rail y con ella la presión de inyección. Independientemente de ello, la electroválvula de alta presión del inyector determina el momento y la duración de la inyección con arreglo a los diversos estados de servicio. La presión de inyección está desacoplada así del momento y la duración de la inyección. Este desacoplamiento hace posible organizar, además de la inyección principal responsable del par motor, otras inyecciones independientemente de la presión de inyección. Éstas son, por una parte, inyecciones previas con un caudal pequeño que reducen particularmente el ruido de combustión. Por otra parte, son inyecciones ulteriores para la reducción de las emisiones de gases. El caudal de inyección correspondiente resulta de la presión y duración de la inyección.

La inyección ulterior de caudales muy pequeños no se efectúa en ningún cilindro determinado. Estos pequeños caudales se suman en la unidad de control, hasta alcanzarse el caudal más pequeño posible que puede ser inyectado por el inyector. Entonces se libera este caudal en el primer cilindro en el que se inyecta a continuación.”(p.68)

2.3. Sistema de inyección de riel común diesel

Para este sistema (Bosch, 2002) afirma que: “La generación de presión y la inyección se realizan en el “Common Rail” por separado. La presión de inyección la genera y regula una bomba de alta presión, en gran parte independientemente del número de revoluciones del motor y del caudal de inyección. La presión está disponible en el acumulador, el “Rail”, para la inyección. Para cada cilindro del motor hay montado un inyector como unidad de inyección. La inyección se consigue mediante la apertura y cierre de la electroválvula de alta presión. El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica.”(p.10)

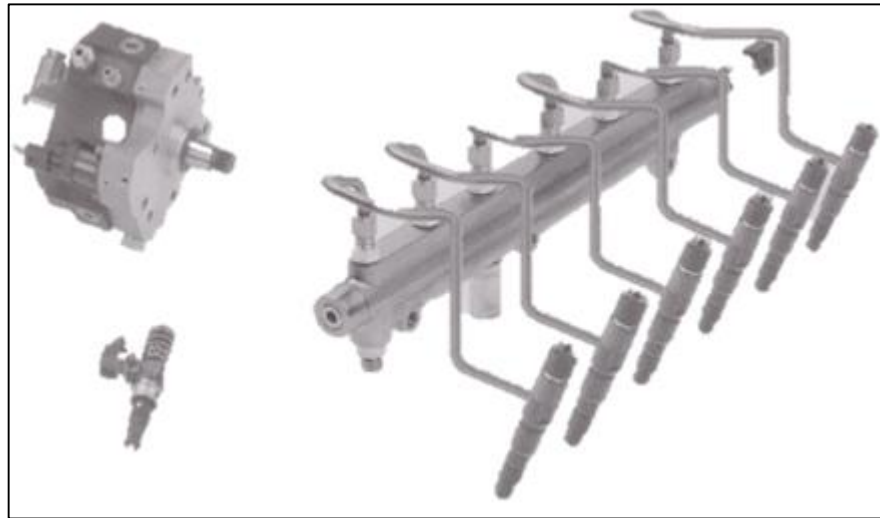


Figura 15 Ejemplos de componentes de alta presión de los sistemas de inyección diesel de Bosch
Fuente: (Gil, 2002)

Este sistema, según (Gil, 2002) permite llevar a cabo las siguientes funciones:

- “Determinar la duración de inyección a partir de la presión de combustible.
- Gobernar, si es necesario, una preinyección (para reducir los gases de escape), y la inyección principal.
- Gobernar el caudal de combustible inyectado.
- Conducción agradable (50% del par suplementario a bajo régimen y un 25% de potencia más).
- Aumento del rendimiento del motor (reducción de un 20% del consumo de combustible).
- Reducción de los gases de escape (CO₂, CO, HC, y partículas de carbono).

La post-inyección asociada a un catalizador de oxidación permite reducir aún más el óxido de nitrógeno.” (p.19)

2.3.1. Principio de funcionamiento

(Gil, 2002) afirma que: “El sistema, desarrollado en colaboración con Bosch permite determinar una inyección ideal. La inyección se realiza mediante alta presión gracias a una rampa de inyección común para todos los inyectores electromagnéticos, llamada “Common Rail”. Dicha rampa de inyección común está sometida a alta presión. La presión de inyección puede llegar a ser de aproximadamente 1.350 bar a altas vueltas. El calculador de inyección incorpora los parámetros siguientes:

- Régimen motor
- Temperatura del agua
- Temperatura del aire
- Temperatura del combustible
- Presión de combustible
- Presión atmosférica
- Posición del pedal acelerador” (p.18)

2.3.2. Componentes del sistema

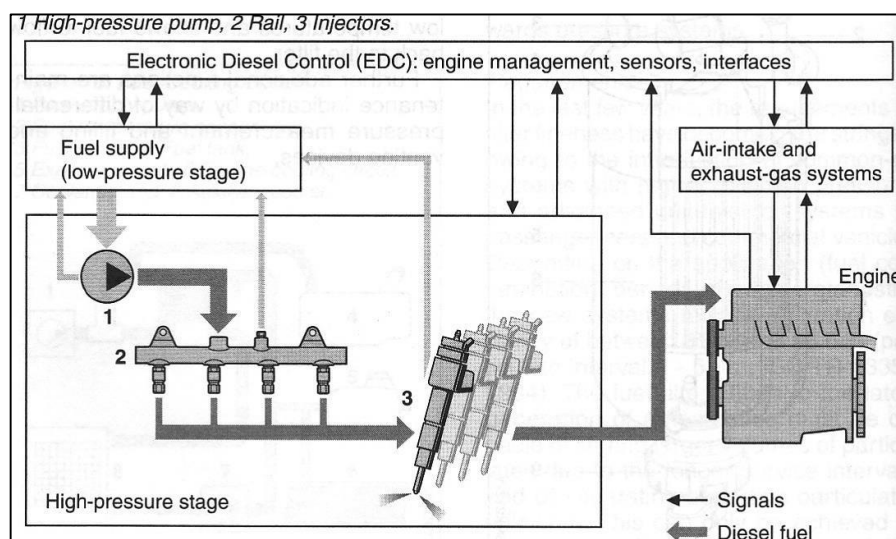


Figura 16 Módulos del sistema Common Rail

Fuente: (Castillejo, 2014)

Como asevera (Castillejo, 2014): “Los componentes del sistema de inyección se pueden diferenciar en tres grupos principales:

- Etapa de baja presión: formada por los componentes que se encargan del suministro del combustible a la etapa de alta presión.
- Sistema de alta presión, compuesto por: bomba de alta presión, “raíl” o acumulador de combustible, inyectores y líneas de alta presión.
- Sistema de Regulación Electrónica EDC (Electronic Diesel Control). Lo constituyen una serie de sensores (medidor de masa de aire, sensor de velocidad del cigüeñal, sensor del pedal del acelerador...), la unidad de control ECU (Electronic Control Unit) y los actuadores.

Los componentes principales del sistema Common Rail son los inyectores. Están equipados de una válvula de acción rápida (una electroválvula o, en el caso de las últimas generaciones, un actuador piezoeléctrico) que abre y cierra la tobera del inyector. Esto permite el control por separado del proceso de inyección para cada cilindro. Todos los inyectores se alimentan desde un raíl común, de ahí el origen del término “Common Rail”.

Una de las características principales de este sistema es que la presión puede variar dependiendo del punto de operación del motor. El ajuste de la presión se efectúa mediante la válvula reguladora de presión o la unidad de dosificación, controlada por la ECU que, a su vez, recibe información del sensor de presión del acumulador.”(p.88)

Existe una etapa de alta presión que según (Castillejo, 2014) se divide en tres sectores: generación de presión, acumulación de presión y dosificación del combustible. La generación de presión la lleva a cabo la bomba de alta presión. La acumulación de la presión se efectúa en el “raíl” o acumulador, en el cual está montado el sensor de presión y la válvula reguladora o limitadora de presión. Los inyectores se encargan de la dosificación exacta del combustible, asegurando el momento y el volumen de inyección correcto.

Todos los sectores están interconectados mediante tuberías de combustible de alta presión.”(p.89)

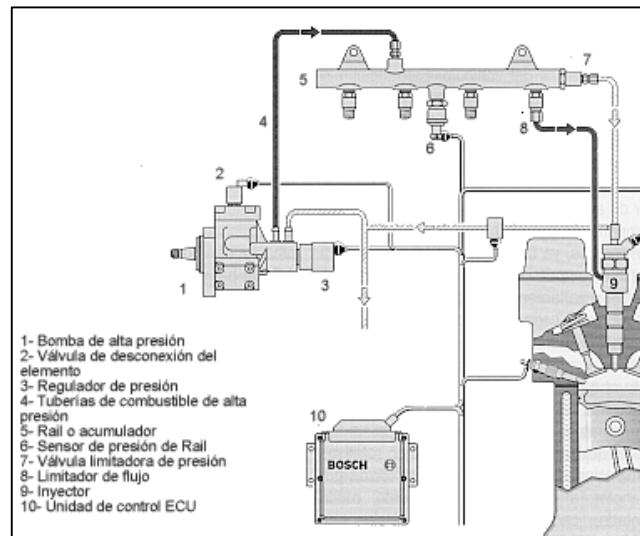


Figura 17 Esquema del circuito de la parte de alta presión del sistema Common Rail
 Fuente: (Castillejo, 2014)

- **Bomba de alta presión**

Según (Castillejo, 2014): “La bomba de alta presión se encuentra en la intersección entre la parte de baja presión y la parte de alta presión. Su función es asegurar el suministro de la cantidad de combustible necesario a la presión adecuada para todas las condiciones de funcionamiento del motor y durante toda la vida útil del motor. Además debe mantener una reserva de combustible necesaria para un arranque rápido del motor y para la elevar rápidamente la presión en el acumulador.

La bomba genera permanentemente la presión necesaria en el acumulador, independientemente de la inyección de combustible. Por esta razón, en comparación con sistemas de inyección convencionales, no es necesaria la compresión durante el proceso de inyección.

Es accionada por el motor mediante un embrague, una rueda dentada, una cadena o una correa dentada. El número de revoluciones de la bomba

mantiene con ello una relación de desmultiplicación fija con respecto al número de revoluciones del motor.

Los émbolos, situados en el interior de la bomba, comprimen el combustible. Con tres carreras de alimentación por giro se generan en la bomba de émbolos radiales carreras de alimentación solapadas (sin interrupción de la alimentación), pares de accionamiento máximo reducidos y una carga uniforme del accionamiento de la bomba.

Las bombas de émbolos radiales de generaciones posteriores incorporan una válvula electromagnética que dosifica el combustible en la parte de baja presión. Con esta regulación se mejora el rendimiento energético, por la reducción de la demanda de energía de la bomba y de la temperatura máxima del combustible.”(pp.90-91)

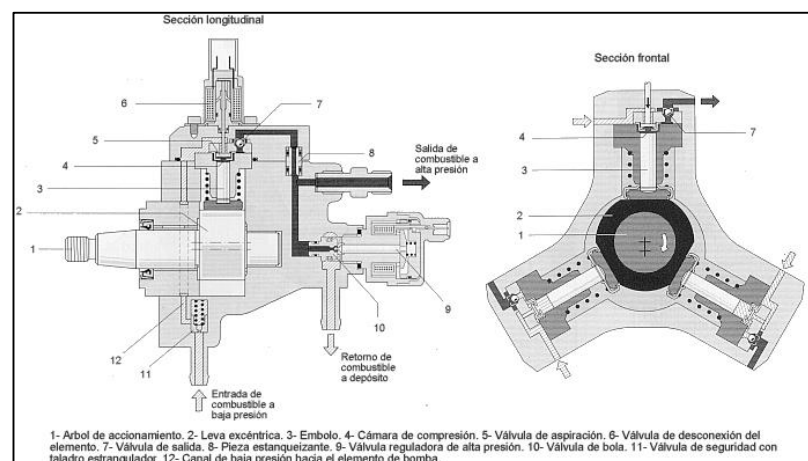


Figura 18 Esquema de la bomba de alta presión
Fuente: (Castillejo, 2014)

- **Acumulador de alta presión**

(Castillejo, 2014) menciona que: “El “Rail” o conducto tiene la misión de almacenar combustible a alta presión. El volumen acumulado debe amortiguar las oscilaciones de presión producidas por el suministro pulsante de la bomba y por los procesos de inyección, garantizando que la presión permanezca constante al abrirse el inyector. El volumen debe ser lo suficientemente grande para satisfacer este requisito y a la vez lo suficientemente pequeño para garantizar una rápida generación de presión en el arranque. Además de la

función de acumulación de combustible, también se encarga de distribuir el combustible a los inyectores.

El acumulador lleva montado un sensor de presión y una válvula limitadora o reguladora de presión. El sensor de presión mide la presión del combustible, envía la señal a la ECU y esta actúa sobre la válvula reguladora para mantener la presión requerida.” (p.92)

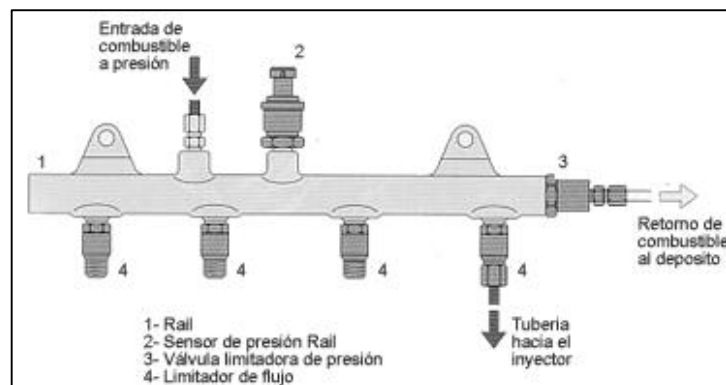


Figura 19 Riel o Acumulador de presión
Fuente: (Castillejo, 2014)

- **Sensor de presión**

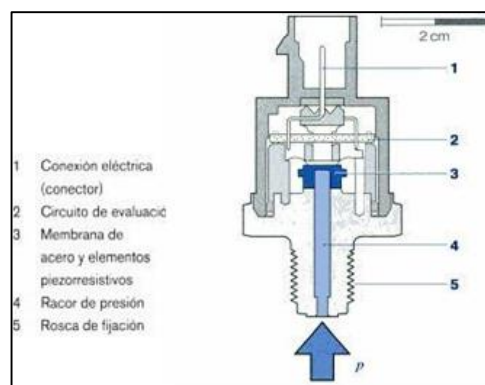


Figura 20 Esquema del sensor de presión
Fuente: (Castillejo, 2014)

“El combustible fluye a través de un taladro en el “Rail” hacia el sensor de presión del mismo, cuya membrana del sensor cierra herméticamente el final del taladro. A través de un orificio en el taladro ciego llega a la membrana el

combustible sometido a presión. Sobre esta membrana se encuentra el elemento piezo resistivo que transforma la presión en una señal eléctrica. Esta señal se transmite a la ECU que la interpreta como un valor de presión.

La resistencia eléctrica de las capas aplicadas sobre la membrana, varía si cambia su forma. Este cambio de forma (aprox. $20\mu\text{m}$ a 1500 bar) que se establece por la presión del sistema, origina una variación de la resistencia eléctrica y genera un cambio de tensión en el puente de resistencia abastecido con 5 V. Esta tensión es del orden de 0 a 80 mV (según la presión existente) y es amplificada por el circuito evaluador hasta un margen de 0,5 a 4,5 V.

La medición exacta de la presión en el “Rail” es imprescindible para el funcionamiento del sistema. Por este motivo son también muy pequeñas las tolerancias admisibles para el sensor de presión en la medición de presión. La precisión de la medición en el margen de servicio principal es de aproximadamente $\pm 2\%$ del valor final. En caso de fallar el sensor de presión del “raíl”, se activa la válvula reguladora de presión con una función de emergencia "a ciegas" mediante valores preestablecidos.” (Castillejo, 2014, p. 93)

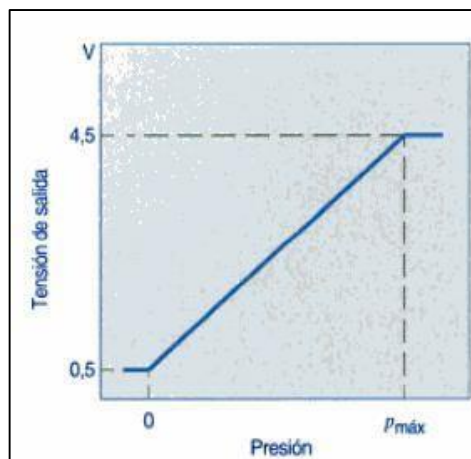


Figura 21 Curva de señal del sensor de alta presión
Fuente: (Castillejo, 2014)

- **Válvula limitadora de presión**

Según (Castillejo, 2014): “La misión de esta válvula equivalente a la de una válvula de sobrepresión. Esta válvula limita la presión en el acumulador abriendo un orificio de rebose en caso de aumentar en exceso la presión.

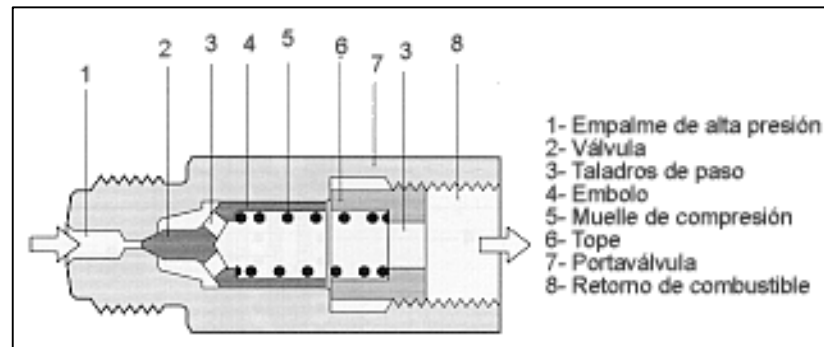


Figura 22 Esquema de la válvula limitadora de presión
Fuente: (Castillejo, 2014)

Esta válvula es un componente que trabaja mecánicamente. Consta de las siguientes piezas:

- Una carcasa con rosca exterior para enroscarla en el raíl o conducto
- Una conexión en la tubería de retorno hacia el depósito de combustible
- Un émbolo móvil
- Un muelle de compresión.”(p.94)

- **Válvula reguladora de presión**

“Tiene la misión de ajustar y mantener la presión en el raíl, en función del estado de carga del motor, así: en caso de una presión demasiado alta, la válvula reguladora de la presión abre de forma que una parte del combustible retorna al depósito; y en el caso de una presión demasiado baja, la válvula cierra estanqueizando así el lado de alta presión contra el lado de alta presión.

La válvula reguladora de presión tiene una brida de sujeción para su fijación a la bomba de alta presión o al acumulador. El inducido presiona una bola contra el asiento para eliminar la conexión entre el lado de alta presión y el de baja presión; para ello, el muelle de la válvula presiona el inducido hacia abajo, y por otra parte, un electroimán que ejerce una fuerza sobre el inducido.” (Castillejo, 2014, p. 95)

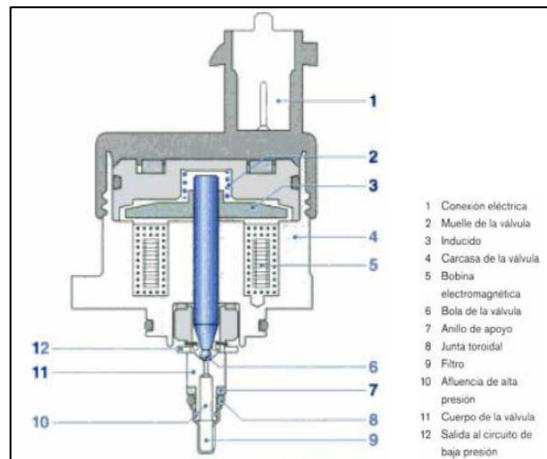


Figura 23 Esquema de la válvula reguladora de presión
Fuente: (Castillejo, 2014)

La válvula reguladora de la presión según menciona (Castillejo, 2014) tiene dos circuitos de regulación:

a. No activada

La alta presión existente en el acumulador o en la salida de la bomba de alta presión es superior a la afluencia de alta presión de la válvula reguladora de presión. Debido a que el electroimán sin corriente no ejerce ninguna fuerza, la acción de la alta presión es superior a la fuerza elástica, de forma que la válvula permanece más o menos abierta según el caudal de suministro. El muelle está dimensionado de forma que se ajuste una presión del orden de 100 bares.

b. Activada

Si debe elevarse la presión en el circuito de alta presión, deberá generarse una fuerza magnética además de la fuerza elástica. La válvula reguladora de presión se activa, y por tanto se cierra, hasta que se compensen la fuerza de alta presión por un lado y las fuerzas magnéticas y elástica por otro. La válvula queda entonces en una posición abierta y mantiene constante la presión. Mediante la variación de la apertura se compensa el caudal de suministro de la bomba y el combustible extraído por los inyectores. La fuerza magnética del electroimán es proporcional a la corriente de activación. Se realiza mediante una modulación de duración de impulsos. La frecuencia de impulsos de 1kHz es suficientemente alta para evitar movimientos perturbadores del inducido u oscilaciones de presión en el acumulador.”(pp.95-96)

c. Inyector con electroválvula

Como afirma (Castillejo, 2014): “Los inyectores utilizados en los sistemas “Common Rail” se activan de forma eléctrica, a diferencia de los utilizados en otros sistemas que se activan mecánicamente. Con esto se consigue más precisión a la hora de inyectar el combustible y se simplifica el sistema de inyección.

El inyector puede dividirse en tres bloques funcionales:

- El inyector de orificios
- El servosistema hidráulico
- La electroválvula

El combustible a alta presión procedente del acumulador entra hacia la tobera y la cámara de control de la válvula a través del estrangulador de alimentación. La cámara de control está unida con el retorno de combustible a través del estrangulador de salida, que puede abrirse por una válvula electromagnética.”(p.97)

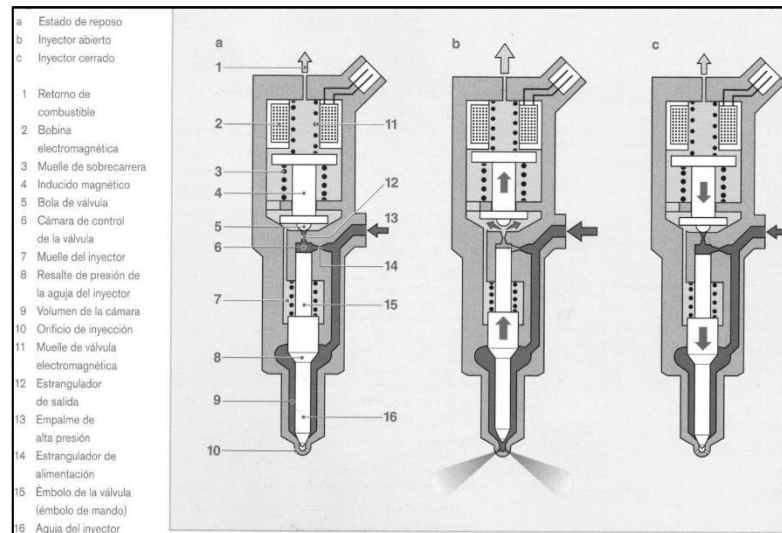


Figura 24 Esquema de un inyector con electroválvula
Fuente: (Castillejo, 2014)

La función del inyector puede dividirse como lo establece (Castillejo, 2014) en cuatro estados de servicio, con el motor en marcha y la bomba de alta presión en funcionamiento.

a. Inyector cerrado – estado de reposo

“La electroválvula no está activada en estado de reposo y por lo tanto se encuentra cerrado el estrangulamiento de salida (Figura 24-a.), que hace que la presión del combustible sea igual en la cámara de control que en el volumen de cámara de la tobera por lo que la aguja del inyector permanece ajustada sobre su asiento en la tobera, empujada por el muelle del inyector.

b. Apertura del inyector – comienzo de inyección

El inyector se encuentra en posición de reposo. La electroválvula se activa con la llamada corriente de excitación, que hace que abra rápidamente la electroválvula. La fuerza del electroimán activado ahora es superior a la fuerza del muelle de la válvula. El inducido levanta la bola de la válvula de su asiento y abre el estrangulador de salida (Figura 24-b.). Tras un breve periodo de

tiempo se reduce la corriente de atracción a una corriente de mantenimiento de menor intensidad en el electroimán. Con la apertura del estrangulador de salida puede fluir el combustible desde la cámara de control de válvula a la cámara hueca situada encima y volver al depósito de combustible a través de las tuberías de retorno. El estrangulador de entrada impide una compensación completa de la presión y disminuye la presión en la cámara de control de válvula. Esto conduce a que la presión en la cámara de control sea menor que la presión existente en la cámara de la tobera. La reducción de la presión en la cámara de control de la válvula conduce a una disminución de la fuerza sobre el émbolo de mando y da lugar a la apertura de la aguja del inyector. En este momento comienza la inyección.

c. Inyector totalmente abierto

La velocidad de apertura de la aguja del inyector queda determinada por la diferencia de flujo entre el estrangulador de entrada y el de salida. El émbolo de mando alcanza su tope superior y permanece retenido ahí mediante un volumen de combustible con efecto amortiguador (tope hidráulico). Este volumen se produce por el flujo de combustible que se establece entre el estrangulador de entrada y de salida. La tobera del inyector está ahora totalmente abierta y el combustible es inyectado en la cámara de combustión con una presión prácticamente equivalente a la existente en el acumulador. La distribución de fuerzas en el inyector es similar a la existente durante la fase de apertura. El caudal de combustible es, con una presión determinada, proporcional al tiempo de conexión de la válvula electromagnética y es independiente del número de revoluciones del motor o de la bomba (inyección controlada temporalmente).

d. Cierre del inyector – final de inyección

En el momento en que se desactiva la electroválvula, el muelle presiona el inducido hacia abajo y la bola de la válvula cierra el estrangulador de salida.

En la Figura 24-c se observa que al cerrarse el estrangulador de salida se genera de nuevo en la cámara de control una presión equivalente a la existente en el acumulador, a través del estrangulador de entrada. Este aumento de presión supone un incremento de fuerza ejercido sobre el émbolo de mando.

La fuerza generada en la cámara de control de válvula y la fuerza del muelle superan ahora la fuerza del volumen de la cámara de tobera sobre la aguja, por lo que ésta se cierra sobre su asiento y finaliza la inyección. La velocidad de cierre de la aguja queda determinada por el flujo proveniente del estrangulador de entrada. La activación indirecta de la aguja del inyector se efectúa mediante un sistema de servo asistencia hidráulica debido a que la válvula electromagnética no es capaz de generar directamente la fuerza necesaria para abrir rápidamente la aguja. Los volúmenes de control y de fuga en las guías en la aguja y el émbolo se conducen de nuevo al depósito de combustible a través de la tubería de retorno de combustible.”(pp.97-99)

Estos estados de servicio se regulan mediante la distribución de fuerzas en los componentes del inyector. Si el motor no está en marcha y no hay presión en el acumulador, la presión de un muelle mantiene el inyector cerrado.

2.4. OBD II

Según lo descrito en el manual de (CISE Electronics Corp.): “El sistema OBD II monitorea (controla) virtualmente todos los sistemas de control de emisiones y componentes que puedan afectar los gases de escape o emisiones evaporativas.

En muchos casos, un mal funcionamiento puede ser detectado antes que las emisiones excedan en 1,5 veces los niveles standard para emisiones a 50 mil millas o 100 mil millas.

Si un sistema o componente ocasiona que se supere el umbral máximo de emisiones o no opera dentro de las especificaciones del fabricante, un DTC

(Diagnostic Trouble Code) debe ser almacenado y la lámpara MIL deberá encenderse.”(p.1)

2.4.1. Monitoreo continuo

(CISE Electronics Corp.) en su manual menciona que: “Este tipo de monitoreo está basado en encender la MIL una vez que fue detectada la falla por parte del PCM; generalmente este tipo de monitoreo se basa en una prueba eléctrica en la cual se verifica que un sensor o actuador este generando una señal fuera de los límites correctos para su óptimo funcionamiento.

A este tipo de pruebas se le denomina monitoreo racional o comprensivo de componentes.

Una vez que el PCM percibe las condiciones óptimas para realizar la prueba, puede variar las condiciones de ciclo de trabajo o de pasos de acuerdo al caso, y esperar que las RPM suban o bajen en un rango determinado, de no darse esto generará un código pendiente y la MIL se encenderá, fijando un código en el sistema.”(pp.2-3)

2.4.2. Monitoreo no continuo

Este tipo de monitoreo según el manual de (CISE Electronics Corp.): “Está diseñado para gestionar los códigos sobre sistemas anti-contaminación, este tipo de monitoreo se realizan solo en condiciones en las cuales se dan todas las características necesarias para poder realizar una prueba de forma veraz.

Si luego de varios ciclos de conducción consecutivos en los cuales se pudo realizar el monitoreo, el sistema continua verificando un problema ese código que fue pendiente pasara a continuo e iluminara el MIL.

Para cada monitoreo existen condiciones o parámetros mínimos para ser cumplidos es así que el PCM esperará las condiciones y realizara las diferentes pruebas.

Dado que todos estos sistemas anticontaminación requieren condiciones muy precisas para su operación, un malfuncionamiento debe ser reconfirmado varias veces puesto que se podría presentar un caso en que se realice un monitoreo dando una respuesta negativa, la cual se pudo presentar por baja temperatura de motor por ejemplo, y en ese caso el MIL estaría encendido de forma falsa. De modo que siempre estos sistemas estarán encendiendo el MIL luego de varios ciclos de conducción con la falla confirmada.”(pp.3-5)

2.4.3. Parámetros de diagnóstico

El flujo de datos está diseñado para ver en tiempo real las condiciones de funcionamiento del motor a través de los sensores o parámetros importantes que representan en OBD II condiciones a evaluar.

En el manual de (CISE Electronics Corp.) se establece que: “Dentro de los principales parámetros revisados en el scanner se tienen:

- RPM. Revoluciones del motor leídas por el PCM, las RPM confirman que el PCM lee vueltas en el cigüeñal.
- ECT. Temperatura del motor tomada por el sensor de temperatura del refrigerante es indicada en grados Celsius C o en grados Fahrenheit.
- IAT. Indica la temperatura del aire en el múltiple de admisión y es indicada en grados Celsius C o en grados Fahrenheit.
- MAP. Indica la presión del colector de Admisión ayuda al PCM a calcular la carga del motor esto es presentado en kPa o mmHg.

- TPS. Indica la posición de la mariposa independientemente del sensor que se tenga (Voltaje Ascendente o Descendente) el valor siempre se presentara en % de carácter ascendente.
- MAF. Indica la cantidad de aire que ingresa al motor evaluada en flujo, esta es medida por el sensor MAF y en el menú se presenta en g/seg o en lib/min. O2S. Indica la lectura del sensor de oxígeno medido en Voltios, es necesario tener en cuenta a cuál de todos los sensores se hace referencia, puesto que puede ser por ejemplo O2S 1 – 1 lo que indica banco 1 sensor 1 (Corresponde al banco en que se encuentre el pistón 1 siendo el primero de los sensores antes del catalizador).
- VSS. Indica la velocidad del vehículo medida en Km/h o m/h, esta puede ser medida en la transmisión en las ruedas o por otro sistema como el ABS y comunicada al PCM por datos.
- AVANCE. Indica el avance que calcula el PCM del encendido, para cada condición de carga existe un avance calculado por el PCM SFT. (Short Fuel Trim): ajuste de combustible a corto plazo, indica la compensación que coloca el PCM de acuerdo al promedio de cambios de la señal del sensor de Oxígeno. El valor medido se presenta en el flujo de datos como %. Positivo o negativo.
- LFT. (Long Fuel Trim): Ajuste de combustible a largo plazo este indica un valor programado del ajuste sobre el promedio de cambios del sensor de oxígeno en valores de %, puede ser positivo o negativo de acuerdo a la condición. En el caso de alcanzar un valor de 25% se genera un código continuo. En algunas aplicaciones el LFT debe superar 30% para encender el MIL.”(p.7)

2.4.4. Códigos de falla

Los códigos de falla OBD II según el manual de (CISE Electronics Corp.): “Son del tipo alfanumérico, y cada uno de los dígitos presenta una ruta específica del diagnóstico. Así se presenta la siguiente estructura:

Tabla 5
Descripción de la estructura de códigos DTC

Letra	Significado	Descripción
P	POWERTRAIN	Comprende los códigos relacionado con el motor y la transmisión automática
B	BODY	Comprende los sistemas que conforman la parte de carrocería y confort, también algunos sistemas relacionados con el inmovilizador
C	CHASIS	Comprende los sistemas relacionados con el chasis como pueden ser algunos sistemas ABS – AIRBAG y sistemas de diferencial que no estén relacionados con la gestión de la transmisión automática.
U	NETWORK	Comprende los problemas relacionados con la transmisión de datos de un módulo a otro, las redes de comunicación se pueden averiar y dejar sistemas completos por fuera del sistema. En ese caso cualquiera de los módulos restantes pueden generar un código relacionado con ese sistema.

Fuente: (CISE Electronics Corp.)

Luego el segundo valor es un número el cual indica si el código es completamente genérico, o está dentro de OBD II pero es algo particular que el fabricante ha dispuesto para ese problema, aunque se generen también al mismo tiempo códigos completamente universales.

Tabla 6
Descripción del segundo dígito del código DTC

Número	Descripción
0	Código completamente universal denominado SAE
1, 2 o 3	Código del fabricante aunque sigue siendo OBD II o CAN

Fuente: (CISE Electronics Corp.)

El tercer dígito indica en el caso del motor, el subsistema sobre el cual está montada la falla detallada en la Tabla 7, es así como tendremos una ubicación precisa del problema analizando este dígito.”(pp.8-9)

Tabla 7
Descripción del tercer dígito del código DTC

Número	Subsistema
1	Problema ocasionado por un problema con un sensor que afecte la relación AIRE /COMBUSTIBLE o cualquier problema que afecte el buen funcionamiento de esta.
2	Relacionado con algún problema relacionados el sistema de alimentación (Bomba de combustible, Inyectores, Relé de Bomba sensores de Presión del Riel)
3	Problema relacionado con el sistema de encendido este puede estar compuesta por elementos como: Bobinas, CKP, CMP, Sensores de detonación Y códigos de Fuego Perdido (Misfire)
4	Relacionado con el desempeño de un sistema anticontaminación como puede ser (EGR, EVAP CATALIZADOR, AIRE SECUNDARIO, OXIGENO CALENTADO).
5	Problema de la marcha mínima esto comprende (Válvulas IAC – ISC o todo sistema motorizado que controle la marcha mínima).
6	Relacionado con un problema del PCM, esto puede ser referente a sus circuitos de procesamiento como memoria y procesador o a referente a masas y positivos fuera de especificaciones.
7 u 8	Relacionado con Transmisión Automática o sistemas controladores de tracción en las 4 ruedas.

Fuente: (CISE Electronics Corp.)

Según (CISE Electronics Corp.): “Existen dos tipos de códigos de falla:

- Códigos continuos.

Este tipo de códigos también llamados sobre demanda, está asociados con la luz MIL. Siempre que se encienda será porque un código continuo fue generado. Para crear los códigos el PCM realiza pruebas sobre los sistemas llamados MONITOREOS. Los códigos continuos pueden generarse por un

monitoreo continuo o por un monitoreo no continuo que fue confirmado por el PCM varias veces.

- Códigos Pendientes.

Este tipo de códigos se pueden considerar provenientes de un monitoreo no continuo, no representa que sea menos importante, pero si determina que la generación del código necesita una confirmación, por esta razón se desarrollan una serie de estrategias basadas en confirmar cada uno de los códigos de acuerdo a unos parámetros que se estudiarán más adelante.”(p.2)

2.4.5. Ciclo de conducción.

(CISE Electronics Corp.) en su manual menciona que: “El PCM debe definir una unidad para poder calcular cuantas veces falla un componente, se podrían definir las fallas por días, pero al PCM le es imposible determinar un día con otro, por esta razón se definió el ciclo de conducción como una unidad que determina las veces que un motor se pone en marcha y termina un periodo de trabajo.

Para el PCM los ciclos se definen como cambios de temperatura determinados por el ECT, un ciclo de conducción esta contado por el PCM como el cambio de temperatura del motor de frío a caliente luego de un encendido, o sea que un auto que recorra 1000Km sin detener el motor realice un ciclo, y una persona que fue de su casa a la oficina trabajo y regreso a casa realice 2 ciclos de conducción. De todas formas en muchas aplicaciones se puede tomar como un ciclo de manejo una puesta en marcha por unos dos minutos o el tiempo necesario hasta que el sistema entre en lazo cerrado.

Los parámetros generales del ciclo están determinados por norma según OBDII.

El PCM fija unos valores de corrección al pulso de inyección hasta llegar a la temperatura optima del motor como muestra la figura 25 llamada también

WARM UP, al momento que pasa de frío hasta esa temperatura luego de un encendido se considera que ha transcurrido un ciclo de Conducción.”(p.5)

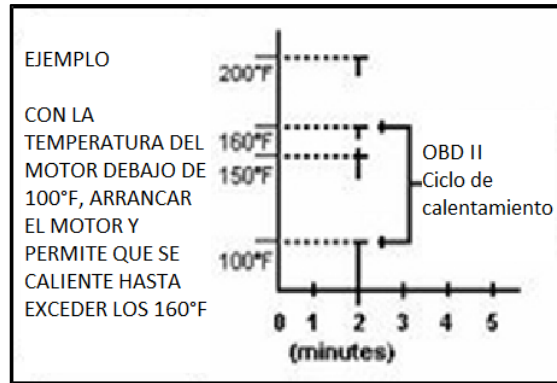


Figura 25 Ejemplo de un ciclo de conducción

Fuente: (AutoZone, 2016)

2.5. Formación de emisiones contaminantes

Hernández L. (2006) cita que “Los mecanismos que dominan la formación de contaminantes en los motores diesel, establecidos por:

2.5.1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x): El nitrógeno es el constituyente mayoritario del aire. Cuando éste se expone a altas presiones y temperaturas, se combina con el oxígeno formando óxidos de nitrógeno.

2.5.2. Partículas (PM): La formación de PM es un indicador de que el combustible nunca ha llegado a liberar toda su energía química, con lo que está también ligada a la disminución de la eficiencia de la combustión. Las partículas son un complejo agregado de diferentes materiales: partículas de carbón, hidrocarburos procedentes del combustible o del aceite no quemado, cenizas, compuesto sulfatados, metales, etc. Una parte importante de las partículas es la materia carbonosa (hollín o dry soot en inglés) generada en las zonas ricas del cilindro durante la combustión, y que no se ha oxidado durante el proceso de expansión.

- 2.5.3. Monóxido de Carbono (CO): Por una parte puede reaccionar con los compuestos oxigenados de la atmósfera y formar CO₂ y por otra parte puede aumentar las concentraciones de metano y ozono troposférico, siendo estos productos gases de efecto invernadero.
- 2.5.4. Hidrocarburos sin quemar (HC): La presencia de HC en los gases de escape es una consecuencia de la reacción incompleta del combustible, provocada por las bajas temperaturas y las reducidas concentraciones de oxígeno a escala local, que impiden que dichos compuestos se oxiden.” (pp.13-15)

2.6. Magnitudes y escalas

Los opacímetros poseen dos escalas, opacidad y coeficiente de absorción de luz.

- Opacidad es definida como la fracción de luz transmitida por un humo, el cual impide alcanzar el detector del instrumento. La opacidad es representada como una magnitud derivada de la transmitancia.

$$N = 100 - \tau (\%)$$

Ecuación 1 Cálculo de la opacidad en función de la transmitancias

Donde N es la opacidad y τ es la transmitancia expresada en porcentaje a una longitud de onda específica.

- Transmitancia (T): Es la fracción de luz, expresada en porcentaje (%), que al ser transmitida desde una fuente, a través de una trayectoria oscurecida por humo, llega al receptor del instrumento observador.
- El Coeficiente de absorción de luz es definido por la Ley de Beer-Lambert, suele ser expresado en m^{-1} .

$$K = -\frac{1}{L} \times \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right)$$

Ecuación 2 Cálculo del coeficiente de absorción de luz

Donde K es el coeficiente de absorción de luz, L es la longitud óptica efectiva dada en metros, y \ln indica el logaritmo natural.

El opacímetro es ajustado, en su escala de opacidad, a cero cuando la radiación pasa a través de la zona de medición (cámara de humo), llena del aire del medioambiente, y que llega al detector. El cien por ciento corresponde a la radiación mínima que llega al detector cuando se apaga o se bloquea la fuente de radiación. (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2013, pp. 1-4)

2.7. Equipos de medida de emisiones - Opacímetro

Las medidas de emisión en escape son especialmente delicadas, requieren equipos caros y de complicado manejo, con lo que han de ser realizadas por personal experto.

En los gases de escape de un motor diesel, el hollín es la principal emisión, este nivel de emisión de particulado se mide a través del opacímetro. Para entender el funcionamiento del opacímetro, que según las definiciones de la norma NTE INEN 2207:2002, opacidad es: “grado de reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar aquella a través de esta”. (p.2)

Según el manual de práctica de SENATI (s.f.): “Un opacímetro permite estimar la cantidad del hollín que emiten los motores diesel, tomando en cuenta que a diferencia de los motores gasolina en donde se mide la cantidad de monóxido de carbono e hidrocarburos no combustionados, en los motores diesel se analiza la cantidad de carbón. Este hollín se trata como minúsculas partículas en suspensión las cuales no son tratadas como un gas, por lo que no pueden ser cuantificadas con un analizador de gases” (p.1).

Los opacímetros son clasificados en tres tipos:

- Opacímetros de flujo total en línea, analiza el total del humo que pasa por el tubo de escape. La medición es realizada dentro del tubo de escape.
- Opacímetros de flujo total tipo estela o fin de línea, analiza el total del humo que sale del escape en forma de estela. La medición es realizada a la salida del escape.
- Opacímetros de flujo parcial o muestreo, analiza una fracción del humo que pasa por el escape. La medición es realizada en una cámara especialmente diseñada.

2.7.1. Opacímetros de flujo parcial o muestreo

Según (Bosch, 2005): “La configuración básica de un opacímetro o medidor de enturbiamiento por método de absorción es: cámara de medición, analizador y un terminal portátil. Por un tubo y una manguera se conecta la salida del escape con la cámara de medición del opacímetro, con lo que ingresan muestras parciales de los gases de escape.

Un rayo de luz atraviesa los gases de escape originados por la combustión del gasóleo en la cámara de medición. Se mide fotoeléctricamente la atenuación de la luz y se indica en tantos por ciento de turbidez T o como coeficiente de absorción K .

Una longitud definida de la cámara de medición y exposición libre de la ventanilla de luz, la cual esté libre de sedimentaciones de hollín, son requisitos para obtener exactitud y buena reproducibilidad de los resultados de la medición.”(p.117)

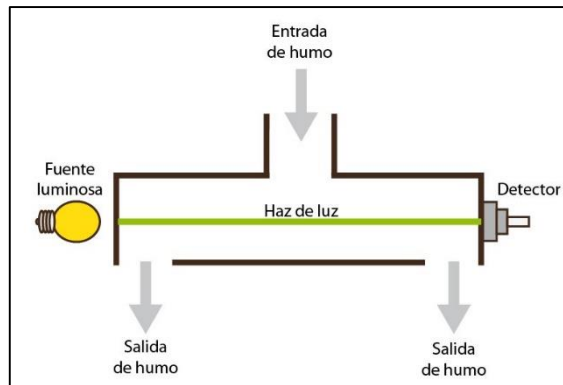


Figura 26 Esquema de funcionamiento de un opacímetro de flujo parcial

2.7.2. Inspección de gases de escape (medición de valores de turbidez)

(Bosch, 2005) establece que: “Durante la inspección de los gases de escape de un motor diesel se tienen los siguientes pasos:

- Identificación del vehículo.
- Comprobación visual del sistema de escape.
- Comprobación del número de revoluciones y la temperatura del motor.
- Registro del número de revoluciones de ralentí medio.
- Registro del régimen de limitación del caudal medio.

Medición de valores de turbidez: acelerar como mínimo tres veces (aceleración libre) para determinar la turbidez (opacidad). Si los valores de turbidez quedan por debajo del valor límite y los tres valores de medición quedan en una ancho de banda de $<0,5 \text{ m}^{-1}$, se supera con éxito la inspección de gases de escape.”(p.117).

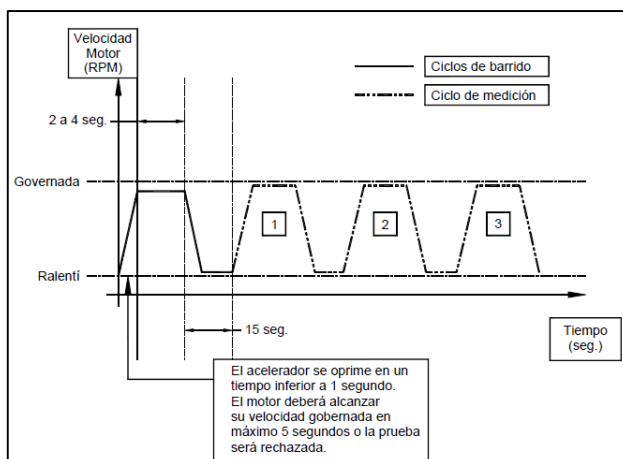


Figura 27 Ciclos de aceleración libre

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2013)

2.8. Límites máximos de opacidad

Para los límites máximos de opacidad se consultó la norma (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2002) la cual establece que para: “toda fuente móvil con motor diesel, en condiciones de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores indicadas en la tabla.” (p.5)

Tabla 8
Límites máximos de opacidad en emisiones para motores diesel

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2002)

Se aplicará el método de ensayo estático en aceleración libre especificado en la norma NTE INEN 2202:2013, que incluye la información pertinente al procedimiento de preparación por parte del operador tanto del vehículo como de operación del equipo adecuado.

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Los equipos que utilizados en la investigación, como son: el opacímetro, osciloscopio y escáner automotriz.

El procedimiento está basado en la norma NTE INEN 2202:2013, denominada prueba estática en aceleración libre, así como en el valor máximo de opacidad referencial especificado en la norma NTE INEN 2207:2002.

Además se establece la matriz de datos en la que se ordenó la información que permitió desarrollar la comparación y análisis de los mismos.

3.1. Equipos

A continuación se detalla las especificaciones de los equipos de ensayo empleados en la prueba de aceleración libre.

3.1.1. Opacímetro BRAIN BEE

Descripción

Es el módulo opacímetro para el análisis y control de gases y humos. Fácil de utilizar y diseñado para asegurar flexibilidad operativa, se conecta al puerto serie de cualquier PC y a través del software incluido OMNIBUS800. Permite visualizar en formato gráfico las mediciones y comparar los valores obtenidos.

Tabla 9
Especificaciones técnicas del opacímetro BRAIN BEE

Categoría	Especificación
Fuente de luz	Diodos LED verde
Receptor de luz	Fotodiodo
Control automático presión	Cámara de medición
Estabilización temperatura	Cámara de medición a 90 °C

CONTINÚA 

Control automático	Sistema limpieza láminas
Tiempo de calentamiento	A 20 °C - 10 minutos.
Recepción	RPM y temperatura vía cable
Consumo	1A DC, 5A DC con calefacción encendida
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 40 °C
Dimensiones	360 x 280 x 288 mm
Peso	5 kg

Fuente: Catálogo BRAIN BEE



Figura 28 Opacímetro Brain Bree

Procedimiento de uso:

- Conectar el analizador, y encender el equipo hasta que el sistema operativo se cargue.
- Colocar la sonda de medición de humo en el tubo de escape del vehículo, asegurándolo con la pinza de sujeción.
- Encender el módulo de análisis y ejecutar el software de “Brain Bee”.
- Esperar hasta que el computador reconozca el opacímetro y cargue el menú principal.
- Seleccionar la opción de “Análisis de Opacidad”, y a continuación la opción “Test Oficial”.

- Se desplegará la pantalla para ingresar los datos del vehículo, las condiciones de las pruebas (temperatura, régimen del motor) y nivel de opacidad de referencia expresada como coeficiente de absorción de luz (m^{-1}).



TEST OFICIAL - DATOS VEHICULO EN PRUEBA		PARA SALIR	ESC
MATRICULA	: XEC-1018		F1
MARCA	: MAZDA		F2
MODELO	: BT-50		F3
Nr. MARCO	: 8LFUNY0WC9M000332		F4
Km	: 29602		F5
MOTOR	: 1 (0=ASPIRADO / 1=TURBO)		F6
LIMITE OPACIDAD	: max 1.7 K [m ⁻¹]		F7
TEMP. ACEITE	: min 80 [°C]		F8
REGIMEN RALENTI	: min 750 max 1000		
REGIMEN DE DESC.	: min 4500 max 5000		

Figura 29 Ingreso de datos del vehículo

- Dar clic en F2 al lado derecho de la pantalla, pasando por las advertencias de estado del motor y de la temperatura de la prueba.
- Para comprobar la temperatura del motor se debe utilizar el cuenta-revoluciones GPRPM-300 que se alimenta de la batería del vehículo, y toma la temperatura del aceite del motor ubicando la sonda en lugar de la ballesta del aceite.

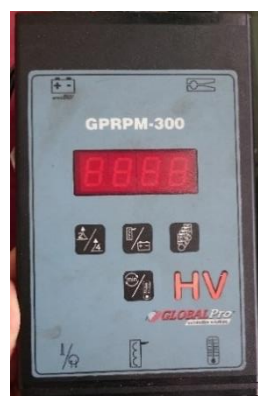


Figura 30 Interfaz del cuentarrevoluciones

- En la pantalla de la prueba, se ejecuta la calibración automática del analizador, únicamente se deben seguir las indicaciones del programa para acelerar a máximas rpm del motor.

- Los valores de opacidad se registran automáticamente, y el programa solicita la repetición de la prueba las veces necesarias.
- Al terminar la prueba se presenta una pantalla con los valores captados de opacidad y su promedio.



Figura 31 Valores de opacidad medidos en una prueba

Los valores que se registran con color verde están por debajo del valor referencial ingresado al inicio de la prueba, mientras que los datos en rojo son valores que sobrepasen el límite de opacidad establecido.

3.1.2. Osciloscopio OWON PDS502T

Descripción

El osciloscopio es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. El eje vertical Y representa el voltaje, mientras que el eje horizontal X representa el tiempo.

Los osciloscopios digitales utilizan previamente un convertor analógico-digital para almacenar digitalmente la señal de entrada, reconstruyendo posteriormente esta información en la pantalla.

Trabaja mediante almacenamiento portátil digital y multímetro digital, para aplicaciones electrónicas tales como las pruebas de circuito, aplicaciones de ingeniería, etc.

La unidad dispone de un puerto USB para la conexión a un PC e incluye software compatible con Microsoft Windows para la transmisión de datos y operación remota.

Tabla 10
Especificaciones técnicas del Osciloscopio OWON PDS5022T

Categoría	Especificación
Monitor	8 "color TFT-LCD
Ancho de banda	25 MHz
Canales	Dos + externo
Tasa máxima de muestreo en tiempo real	100 MS / s
La longitud de registro	5 principales objetivos de ejecución por canal
Fuente de alimentación	100 a 240 V CA, 50 / 60Hz, CAT II o una batería de iones de litio recargable
Dimensiones (H x W x D)	157 x 350 x 103 mm
Peso	1,7 kg

Fuente: (OWON, 2016)

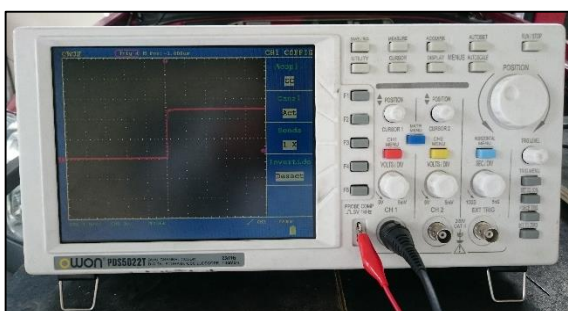


Figura 32 Panel frontal del osciloscopio PDS

Procedimiento de uso:

- Conectar a una toma de 110V y encender el equipo.
- Conectar el juego de puntas que mejor se adapte al trabajo que se va a realizar en los puntos de medición deseados, y el otro extremo debe estar conectado al canal 1 del osciloscopio.
- Calibrar las perillas con las escalas de tiempo y voltaje, de tal manera que se pueda visualizar la forma de la onda adecuadamente y estabilizar la posición de la onda variando el “trigger”.

- Para visualizar el oscilograma en el computador, se debe instalar previamente el software “OWON Software de Osciloscopio 2.0.8.26”, y el driver correspondiente al osciloscopio para que se reconozca el puerto USB.
- Conectar mediante USB con el programa en ejecución.
- Para almacenar los datos obtenidos en tiempo real usar la opción “Obtener datos”, lo que permite generar un archivo que es manejado por el software.

3.1.3. Scanner automotriz GScan 2

Descripción

Son dispositivos electrónicos que controlan el funcionamiento del automóvil, se encargan de controlar la inyección, las revoluciones, el tiempo de apertura de los inyectores, monitorean los sensores del automóvil y envían señales a unos actuadores para que se lleve a cabo la operación correcta.

Cada fabricante incluye un puerto de comunicación, para la computadora del automóvil, cada fabricante es específico e incluye un puerto diferente, mediante este puerto es posible percibir el funcionamiento del motor ya sea funcionando o estando apagado.

Todo scanner certificado para OBD II debe tener como mínimo:

- Determinar automáticamente el protocolo de comunicación utilizado en el vehículo para acceder al sistema.
- Adquirir y permitir la visualización de: El estado y el resultado de las diferentes pruebas del sistema OBD II.
- Los códigos de falla (DTC) relacionados con el control de emisiones.
- Flujo de datos relacionados con las emisiones.

Tabla 11
Especificaciones técnicas del Scanner GScan 2

Categoría		Especificaciones	
CPU	Triple CPU	Tarjeta de control principal	Arm11 @ 400mHz
		Tarjeta de comunicación	Arm9 @ 266mHz
		Tarjeta de medida (opcional)	Arm9 @ 266mHz
División de voltaje	Modo 2 canales	±400mV, ±800mV, ±2V, ±4V, ±8V, ±20V, ±40V, ±80V, ±200V, ±400V	
División de tiempo	Modo 2 canales	100µs, 200µs, 500µs, 1ms, 2ms, 5ms, 10ms, 20ms, 50ms, 100ms, 200ms, 500ms, 1s, 2s, 5s	
Potencia de entrada	100 ~ 240V AC		
Frecuencia	50 / 60 Hz		

Fuente: (G-Scan, 2016)



Figura 33 Scanner GScan2

El GScan2 es un equipo multimarca con cobertura para vehículos livianos y pesados, de origen americano, asiático y europeo, para gasolina y diesel. Herramientas de exploración más potente en cuanto al almacenamiento, procesamiento y funciones de pantalla.

Se convirtió en un medio para el procesamiento de datos que van a ser analizados en la investigación.

Es un modelo Desarrollado por GIT Technologies con excelentes especificaciones como: pantalla táctil a color, sistema CAN-Bus y las últimas características de la industria, incluye conectividad a PC por sistema Wi-Fi y sistema Windows CE.

Procedimiento de uso:

- Conectar a una toma de 110V y encender el equipo.
- Ubicar el puerto de conexión OBD II en el vehículo y conectar el cable de comunicación del scanner en el mismo.
- Poner en contacto el vehículo, para visualizar los DTC presentes en la PCM del vehículo se debe seleccionar la opción “OBDII”.
- En la opción de “DIAGNOSIS” se selecciona el origen del vehículo, la marca y modelo, para tener acceso a los parámetros de funcionamiento en tiempo real del mismo.

Nombre de artículo(1/10)	Valor	Unidad
Accelerator pedal position sensor 1	0.61	V
Engine coolant temperature	66	°C
Engine coolant temperature	1.23	V
Fuel temperature	56	°C
Fuel rail pressure	0.00	MPa
Intake air temperature	58	°C
Intake air temperature	0.98	V
Mass air flow	0.63	V
Manifold absolute pressure sensor	1.24	V
Engine speed	0	rpm

Función Normal Gráfico Registro Todos los artículo

Figura 34 Captura de los parámetros establecidos para la investigación

- El equipo permite realizar capturas de imagen de cualquier pantalla y en el momento deseado.
- Las capturas se almacenan en la memoria extraíble del equipo, y pueden ser visualizadas en la opción “ALMACENAMIENTO” del menú principal.

3.3. Inspección y preparación previa del vehículo

La norma NTE INEN 2202:2013 especifica que el operador debe realizar la siguiente inspección con el fin de generar un ambiente seguro de trabajo.

3.3.1. Verificaciones sobre el vehículo

- La palanca de cambios debe estar en posición neutro y el pedal del embrague debe estar libre.
- Verificar que no existan obstáculos que impidan el avance libre del pedal del acelerador en todo su recorrido.
- Las ruedas del vehículo deben estar bloqueadas o el vehículo debe estar inmobilizado.
- El aire acondicionado del vehículo debe estar apagado.
- Desactivar todos aquellos dispositivos instalados en el motor o en el vehículo que alteren las características normales de velocidad del motor, y que tengan como efecto la modificación de los resultados de la prueba de aceleración libre o que impidan su ejecución adecuada.
- Verificar que se incrementa la velocidad del motor hasta tal punto en que sea posible comprobar que el gobernador limita la velocidad máxima del motor.
- Verificar que no existan fugas en el tubo de escape, silenciador, tapa de llenado del tanque de combustible, tapa de llenado del aceite del motor y en las uniones al múltiple de escape o alguna salida adicional a las de diseño, que provoquen una dilución de los gases del escape o una fuga de los mismos.

3.3.2. Recomendaciones especiales de instalación

Para la implementación de los equipos de medición se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La sonda del medidor de humo de flujo parcial deberá insertarse en el tubo de escape enfrentando la corriente y en dirección del flujo del humo, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Para el muestreo del humo sólo deben emplearse sondas o tubos de muestreo, o líneas, especificados por el fabricante del medidor de humo.
- Medir la velocidad del motor con la ayuda de un tacómetro, que puede ser el mismo que dispone el vehículo.

3.4. Condiciones ambientales para la prueba

Las condiciones ambientales pueden afectar los resultados de la prueba de humos en aceleración libre, por lo cual son necesarias las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiente: Debe estar por encima de 2°C (36°F).
- Humedad: No debe existir humedad visible, neblina o lluvia en el área donde se efectúe la medición de opacidad.
- Área de trabajo: Los lugares en los que se realicen las pruebas no deben favorecer una concentración de gases que puedan afectar la medición y perjudicar la salud de él o los operadores.

3.5. Método de ensayo

- Este método de ensayo se basa en la determinación del porcentaje de luz visible que se absorbe y refleja cuando un haz de ésta atraviesa la corriente de las emisiones provenientes del sistema de escape.
- Las curvas de voltaje de sensores y actuadores, es la representación gráfica del comportamiento de la energía eléctrica que muestra las señales variables en el tiempo.
- Los datos de información del programa establecen las condiciones de funcionamiento del motor en tiempo real en unidades específicas para cada parámetro.

3.6. Procedimiento de pruebas

Para el desarrollo de cada una de las pruebas de la investigación se estableció el siguiente procedimiento:

3.6.1. Pasos previos

- Realizar el mantenimiento preventivo del motor.
- Realizar el diagrama eléctrico del sistema de control electrónico del motor.
 - Determinar la ubicación de la Unidad de Control Electrónico (ECU).

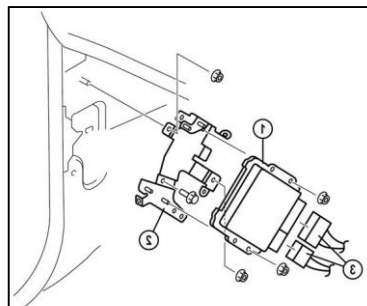


Figura 35 Ubicación y partes de la ECU de la camioneta Mazda BT-50
Fuente: (Mazda Motor Europe, 2006)

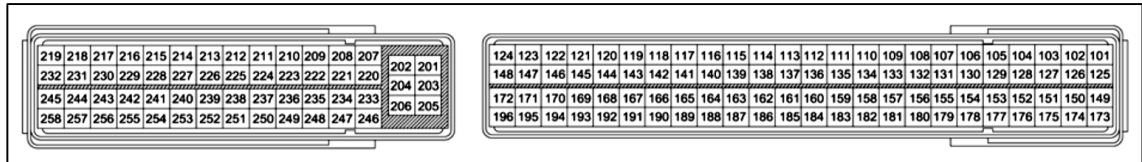


Figura 36 Distribución de pines de la ECU de la camioneta Mazda BT-50
Fuente: (Mazda Motor Europe, 2006)

- Usar el multímetro digital en la función de comprobación de continuidad, entre el mazo de cables de sensores y actuadores, y los pines de la ECU respectivamente.
- Realizar el diagrama establecido en un software específico para simulación de circuitos electrónicos.

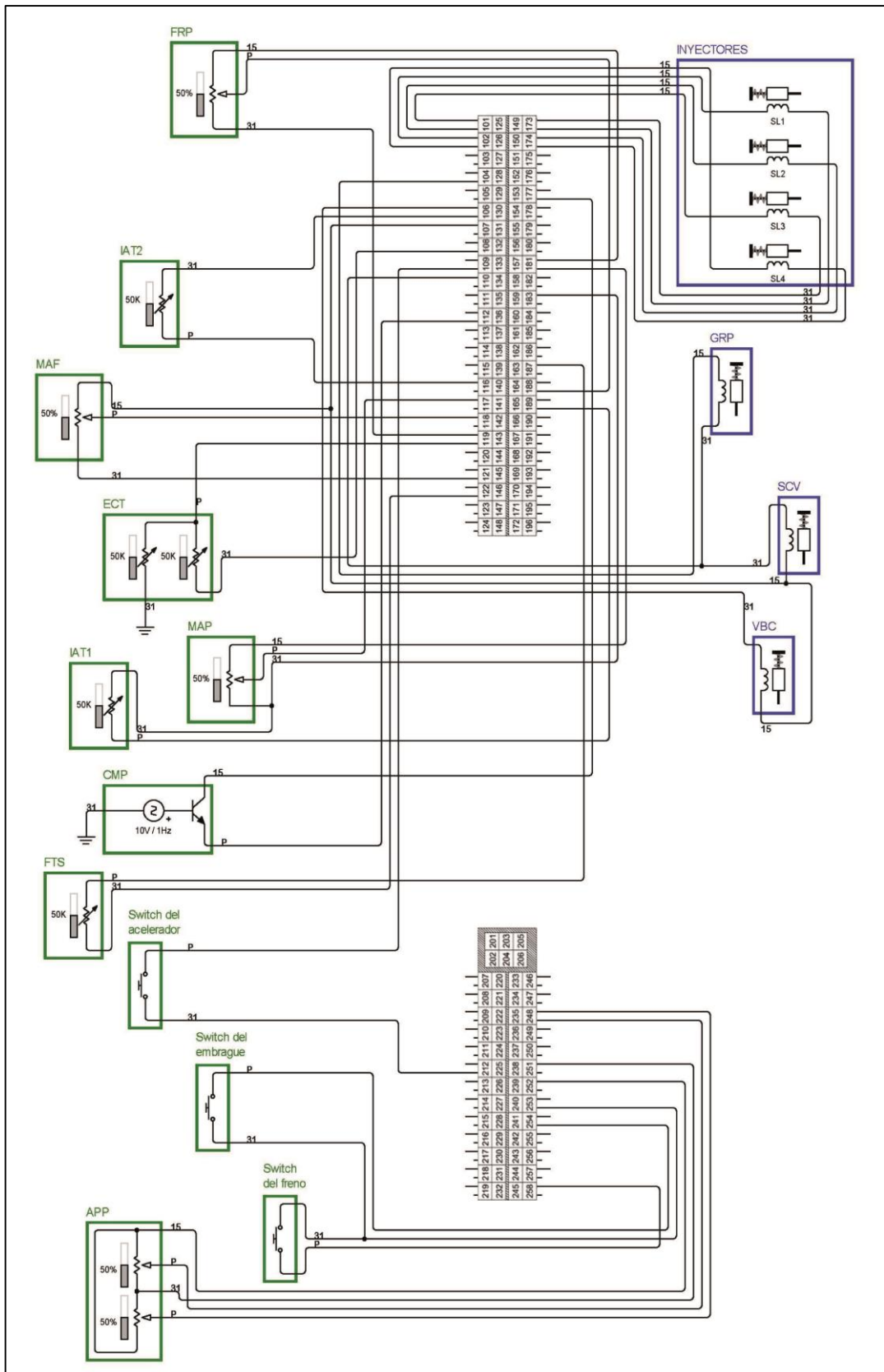


Figura 37 Diagrama eléctrico de sensores y actuadores de la camioneta Mazda BT-50

- c. Obtener las gráficas de funcionamiento normal de los sensores y actuadores que van a ser estudiados en la investigación.

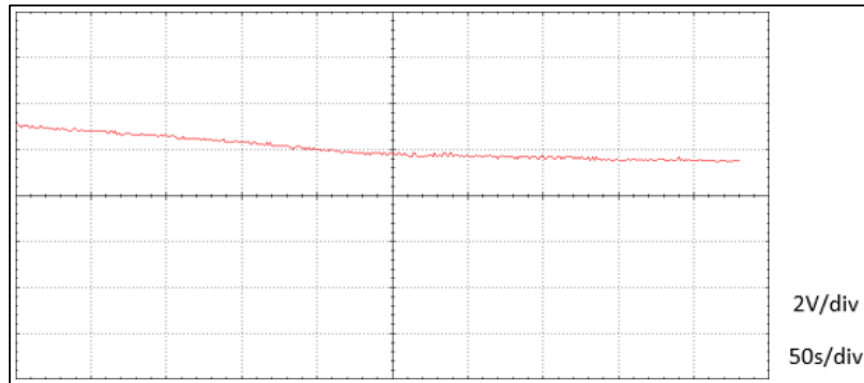


Figura 38 Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del refrigerante del motor

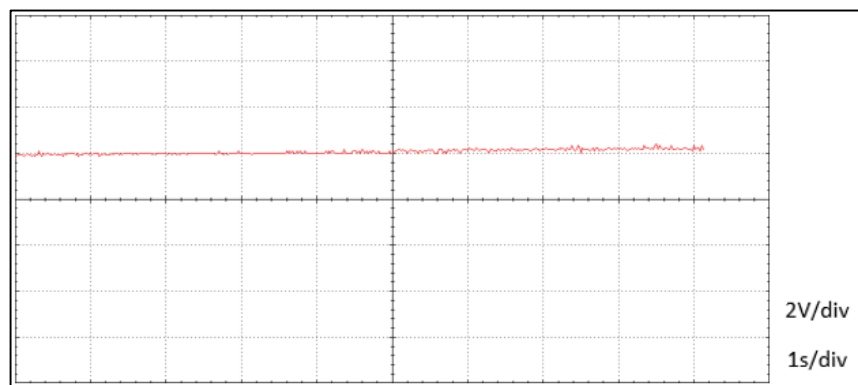


Figura 39 Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del combustible

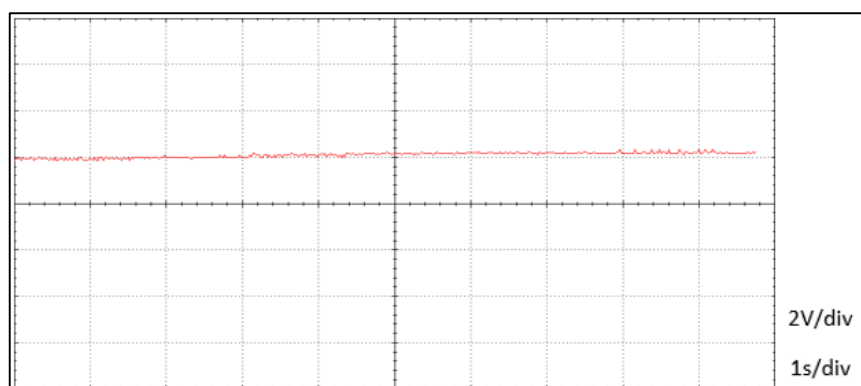


Figura 40 Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del aire de admisión

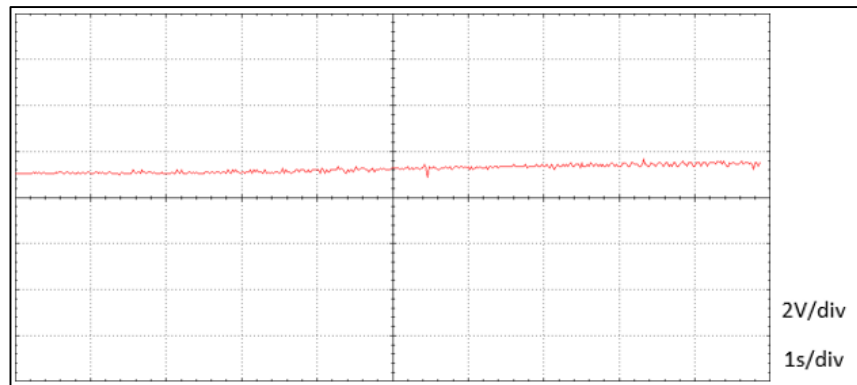


Figura 41 Curva patrón de funcionamiento del sensor de temperatura del aire de admisión del turbo

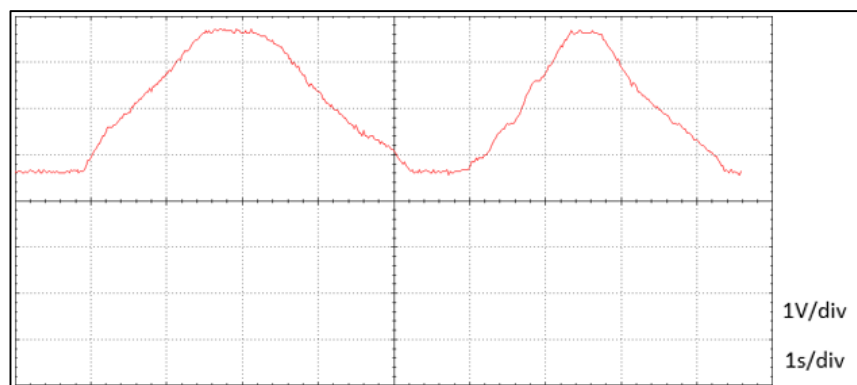


Figura 42 Curva patrón de funcionamiento del sensor de posición del acelerador

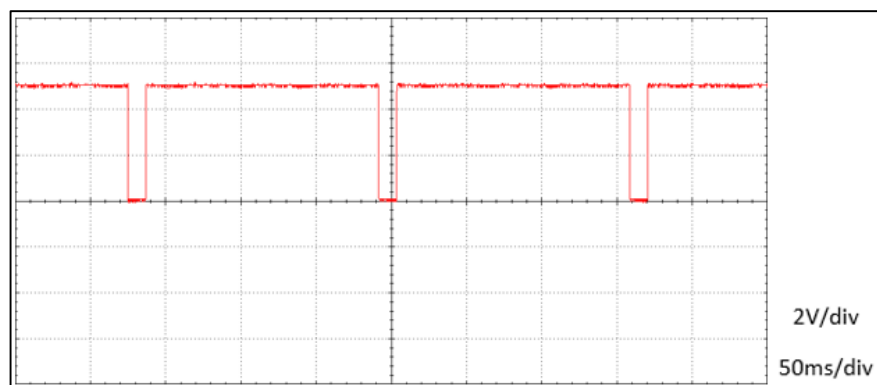


Figura 43 Curva patrón de funcionamiento del sensor de posición del árbol de levas

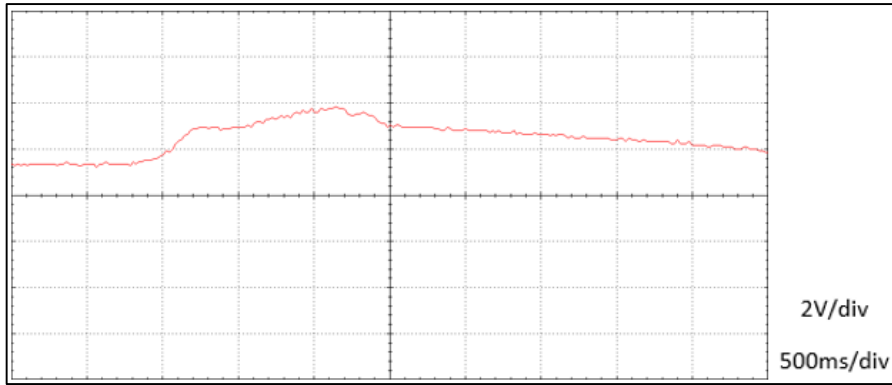


Figura 44 Curva patrón de funcionamiento del sensor de presión del riel de combustible

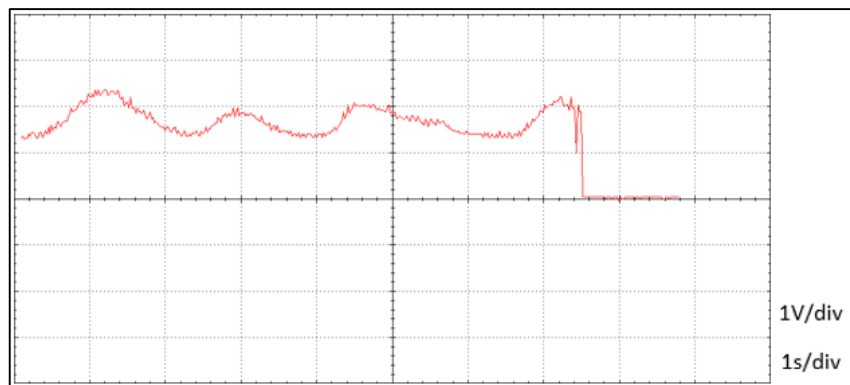


Figura 45 Curva patrón de funcionamiento del sensor de presión del aire de admisión

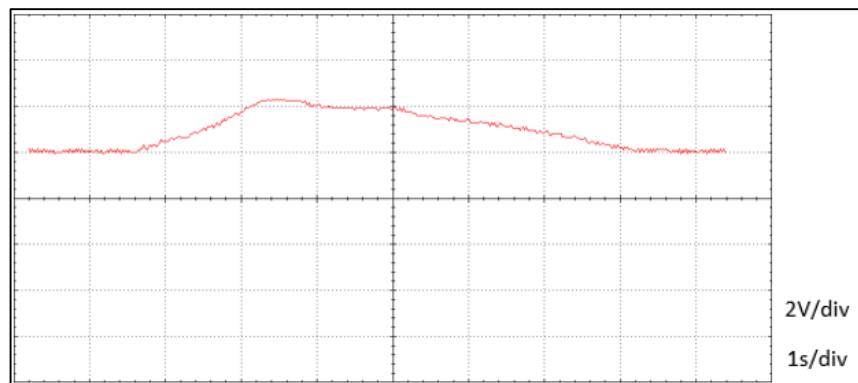


Figura 46 Curva patrón de funcionamiento del sensor de flujo de aire de admisión

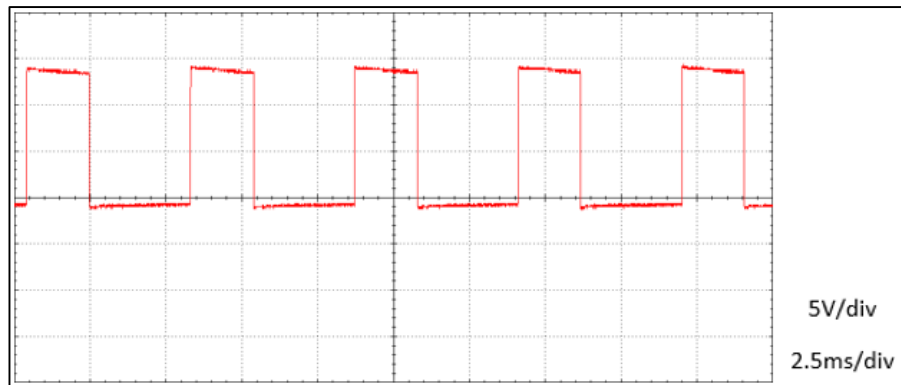


Figura 47 Curva patrón de funcionamiento de la válvula de control de caudal del combustible

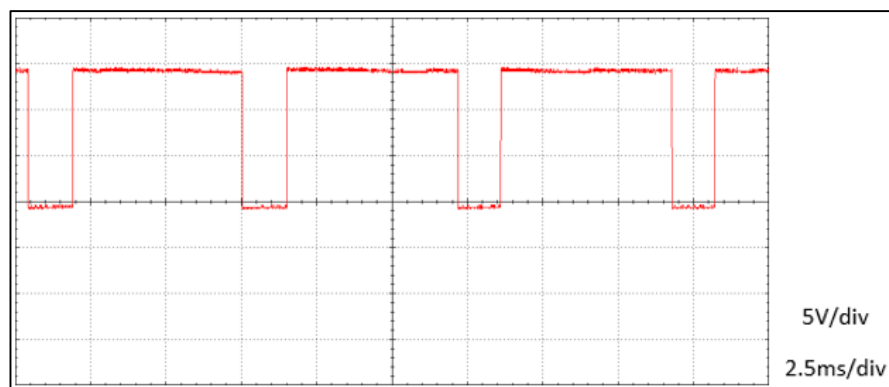


Figura 48 Curva patrón de funcionamiento de la válvula de control de turbo de geometría variable

- d. Calcular el valor límite de opacidad establecido en la norma (ver Tabla 8.) como coeficiente de absorción de luz K .

Tabla 13
Datos para el cálculo del límite de opacidad

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Opacidad	N	50	%
Longitud de trayectoria óptica efectiva	L	0,40	m
Coefficiente de absorción de luz	K	-	m^{-1}

$$K = -\frac{1}{L} \times \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$K = -\frac{1}{0,40} \times \ln\left(1 - \frac{50}{100}\right)$$

$$K = 1,73 \text{ m}^{-1}$$

- e. Establecer los parámetros que a considerar en la investigación, mismos que están organizados en una tabla (ver Tabla 12).

3.6.2. Generación de códigos de fallas

El diagrama eléctrico permite identificar los cables de: tierra, alimentación o señal para generar fallas en alto (High) y bajo (Low) para los respectivos sensores.

a. Sensor de dos cables

- Código de falla en alto (High): Desconectar el terminal del sensor, de esta manera el voltaje de referencia (5V) pasa directamente a señal.
- Código de falla en bajo (Low): Generar un corto circuito (puente) entre el cable de referencia y el de tierra, la señal no recibirá voltaje (0V) ya que el voltaje de referencia (5V) se descarga en tierra.

b. Sensor de tres cables

- Código de falla en alto (High): Forzar la conexión de referencia (5V) a señal, recibiendo así todo el voltaje directamente.
- Código de falla en bajo (Low):
 - Desconectar el terminal del sensor, así el cable de señal no recibe voltaje alguno, provocando que mida 0V.
 - Forzar la conexión del cable de tierra a señal, para que el voltaje medido sea 0V.

3.6.3. Ejecución

- a. Ubicar el vehículo en un espacio abierto.
- b. Colocar el freno de mano para asegurarse que el vehículo no se desplace durante el desarrollo de las pruebas.
- c. Conectar el Scanner GScan2 al DLC y escoger la información para Mazda BT-50.
- d. Poner a punto el opacímetro para las mediciones.
- e. Colocar la sonda de medición del opacímetro en el tubo de escape del vehículo.
- f. Ejecutar el software de medición de opacidad como se detalla en el punto 3.1.1. de este documento.
- g. Levantar el capó y fijarlo con la varilla de sujeción.
- h. Retirar la cubierta del motor.
- i. Encender el osciloscopio y ejecutar el programa como se especifica en el punto 3.1.2. de la investigación.
- j. Conectar las puntas del osciloscopio a los cables del inyector 1 del motor.
- k. Las pruebas deben realizarse con el motor en frío y en temperatura de funcionamiento normal; para lo cual se establecieron los siguientes rangos:

Tabla 14
Rangos de temperaturas establecidos para las pruebas

Condición	Rango de temperatura (°C)
Frío (baja temperatura)	35 – 55
Caliente (alta temperatura)	80 – 100

- l. Generar la falla según el componente y el estado que se va a analizar.
- m. Poner la llave en la posición de contacto; así el scanner reconoce las condiciones y datos en tiempo real del vehículo.
- n. Ingresar en la opción “OBDII” del menú principal del Scanner y seleccionar la opción “Análisis de DTC” para verificar que la falla se generó correctamente.
- o. Regresar al menú principal del Scanner y seleccionar la opción “DIAGNOSIS”, misma que permite seleccionar el origen, marca, modelo y cilindrada del vehículo.
- p. Seleccionar los datos que se consideran importantes para la investigación.

Nombre de artículo(1/10)	Valor	Unidad
Accelerator pedal position sensor 1	0.61	V
Engine coolant temperature	66	°C
Engine coolant temperature	1.23	V
Fuel temperature	56	°C
Fuel rail pressure	0.00	MPa
Intake air temperature	58	°C
Intake air temperature	0.98	V
Mass air flow	0.63	V
Manifold absolute pressure sensor	1.24	V
Engine speed	0	rpm

Función Normal Gráfico Registro Todos los artículo

Figura 49 Parámetros seleccionados como importantes para la investigación

- q. Con la utilización del termómetro automotriz GPRPM-300 verificar que la temperatura llegue a un valor específico para cada prueba.
- r. Encender el motor.
- s. Iniciar la prueba en el opacímetro, el programa se encarga de indicar el momento y las revoluciones exactas que se requieren para establecer la

medición. Debido a que este software solicita como mínimo tres pruebas seguidas, deben tomarse los oscilogramas y capturas de los PIDs en el Scanner al mismo tiempo que se obtiene cada uno de los valores de opacidad.

- t. Dejar el motor en ralentí por 1 minuto.
- u. Apagar el motor.
- v. Repetir el procedimiento desde el punto (l.) para cada una de las pruebas requeridas en la investigación.

3.6.4. Sugerencias

Puede ser necesario que se deba acelerar el vehículo para que la falla sea guardada en la ECU, sobretodo en el caso de desconectarse cualquiera de los inyectores y el sensor de flujo de aire MAF.

Fijar la sonda de medición de humos con alguna sujeción extra, en caso de que las vibraciones del motor hagan que esta se desconecte del tubo de escape.

Esperar a que el número de repeticiones de la prueba de opacidad arroje un resultado, pues en algunos casos el software solicita más repeticiones que en otros.

En caso de existir dificultades con la instalación del software de control del osciloscopio OWON PDS5022T en el computador, verificar que la versión y compatibilidad sean las adecuadas, según lo especificado en la página web oficial de la marca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS

En este capítulo se analiza la información recopilada en las pruebas realizadas en la camioneta Mazda BT-50, mediante el protocolo de pruebas elaborado.

Las pruebas son las siguientes:

- Condiciones normales de funcionamiento

Con el motor en condiciones óptimas se realizó las pruebas y mediciones necesarias, para obtener los valores normales tanto de opacidad como de tiempos de inyección que se genera en el motor de combustión interna diesel para tener la base para la comparación cuando se presenten códigos de fallas en los componentes electrónicos del sistema CRDI.

- Fallas en los sensores

Se llevó a cabo pruebas generando códigos de fallas en alto (High) y bajo (Low) para cada sensor del sistema de forma individual. Los valores obtenidos se comparan con los resultantes de la prueba en condiciones normales.

- Fallas en los actuadores

Se desconectó uno por uno los principales actuadores del sistema, para provocar que se reconozca un fallo en el mismo.

- Fallas combinadas

Se generó fallas por pares de componentes, para provocar condiciones extremas de funcionamiento del motor.

Las pruebas se realizaron con el motor tanto en frío, como en caliente, según los rangos de temperaturas establecidos en la Tabla 14.

A continuación se presentan oscilogramas, tablas y figuras que permiten una apreciación visual de los resultados de dichas pruebas, de manera simple y concreta, acompañados de explicaciones y observaciones del comportamiento de los parámetros analizados.

La información relevante se agrupa en un análisis final en el que se identifican las condiciones donde se generan niveles de opacidad extremos, y como la ECU ha variado los tiempos de inyección del motor para adaptarse a las condiciones adversas de cada prueba.

4.1. Condiciones normales de funcionamiento

El oscilograma capta la señal del inyector en aceleración máxima, como lo indica el protocolo de prueba, y paralelamente las mediciones de opacidad.

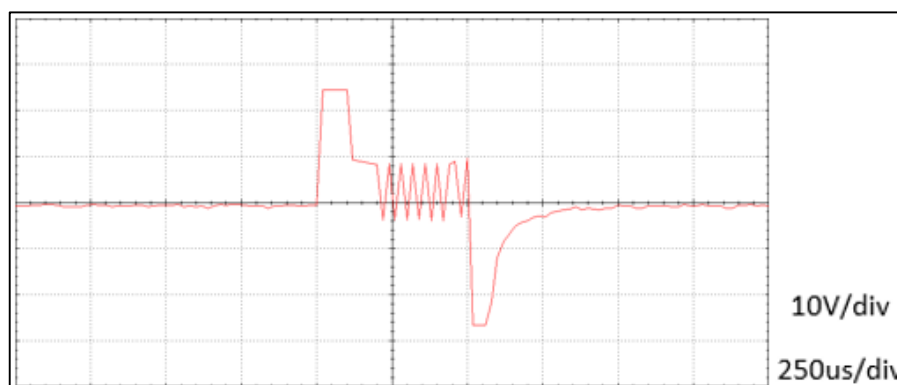


Figura 50 Oscilograma de inyección en condiciones normales y con el motor en frío

En la figura 50 se observa que cuando el motor funciona a bajas temperaturas el inyector se activa con 25V, y la duración promedio de la inyección principal es de 0,225mS.

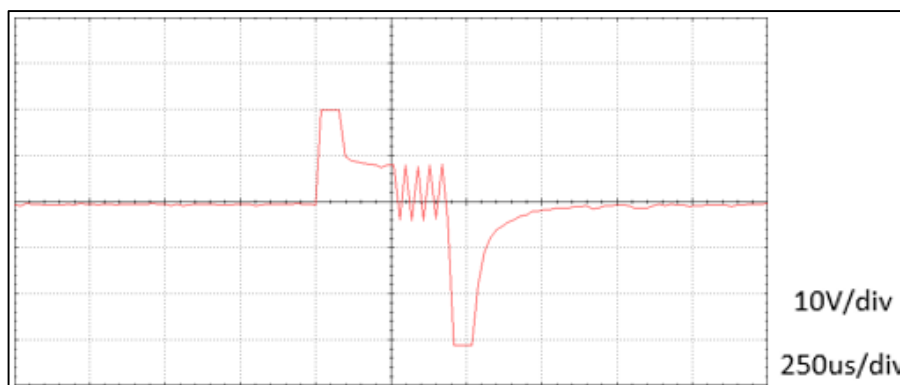


Figura 51 Oscilograma de inyección en condiciones normales y con el motor en caliente

Cuando el motor alcanza temperaturas altas en su funcionamiento el inyector se activa con 20V, y la duración promedio de la inyección principal es 0,258ms, como indica la figura 51.

Tabla 15

Datos obtenidos en condiciones normales de funcionamiento del motor

SENSOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
CONDICIONES NORMALES	35-55	38	4628	0,50	18,13	0,249
		40	4671	0,39	14,44	0,200
		47	4726	0,50	18,13	0,225
	Promedio	41,67	4675	0,46	16,90	0,225
	80-100	86	4853	0,48	17,47	0,225
		84	4875	0,53	19,10	0,275
		85	4875	0,64	22,59	0,275
		Promedio	85	4867,67	0,55	19,72

La tabla 15 presenta los valores obtenidos en las tres mediciones requeridas por el opacímetro para el cumplimiento de cada prueba; para el tiempo de inyección en frío especificada anteriormente se tiene que la temperatura promedio fue de 41,67°C, el régimen del motor 4675rpm; y para la prueba en caliente al temperatura promedio fue de 85°C, el régimen promedio 4867,67rpm. Entre los valores presentados, la opacidad promedio en frío es de 46m⁻¹ (16,9%), y de 0,55m⁻¹ (19,72%) en caliente.

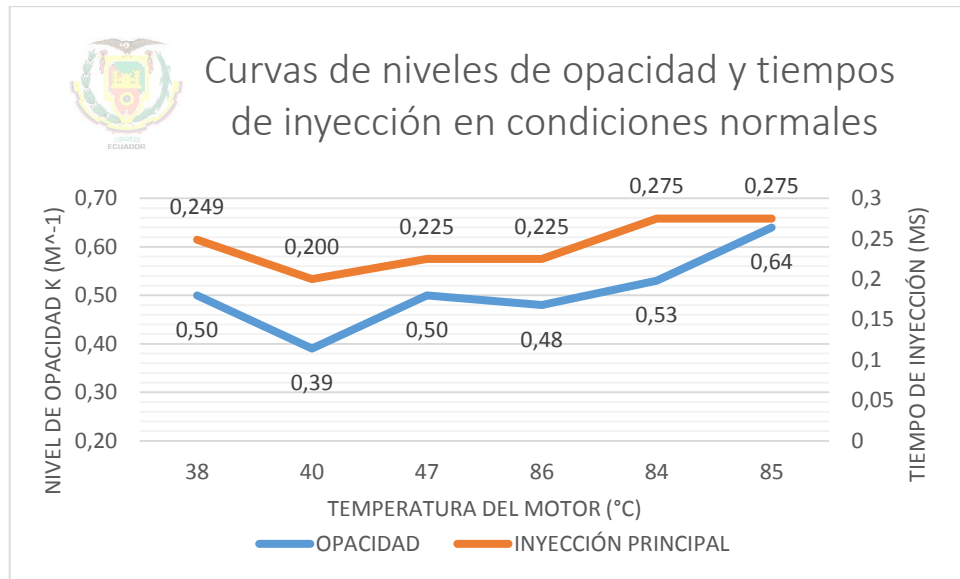


Figura 52 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor en condiciones normales de funcionamiento, en frío y caliente

El comportamiento de las curvas va a la par en cada uno de los estados de prueba.

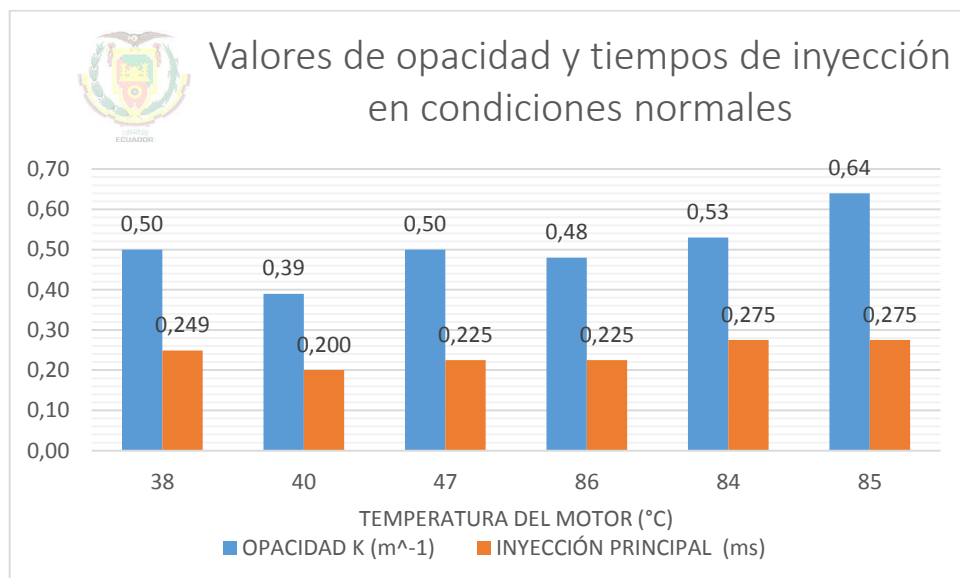


Figura 53 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor en condiciones normales, en frío y caliente

El nivel de opacidad más bajo se dio a los 40°C de temperatura del motor con el 14,14% (0,39m⁻¹), en cambio el máximo valor obtenido es de 22,59%

($0,64m^{-1}$) a los $85^{\circ}C$. De igual manera el tiempo de inyección de menor duración se da a los $40^{\circ}C$ con $0,200mS$, y el máximo a $84-85^{\circ}C$ con $0,275mS$.

Los datos indicados en la figura 53 sirven de base para la comparación con las diferentes condiciones de prueba establecidos para el análisis.

4.2. Sensores de temperatura

4.2.1. Sensor de temperatura del refrigerante del motor – ECT

- DTC alto (HIGH)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0118	Engine Coolant Temperature Sensor 1 Circuit High	Presente

Figura 54 Reconocimiento del DTC del ECT en código alto

Esta falla provoca que la computadora reciba como dato una temperatura extremadamente baja del refrigerante ($-40^{\circ}C$).

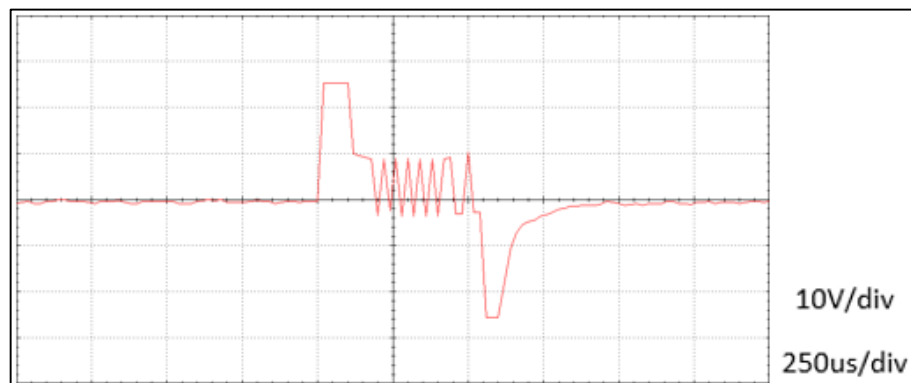


Figura 55 Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC alto, con el motor en frío

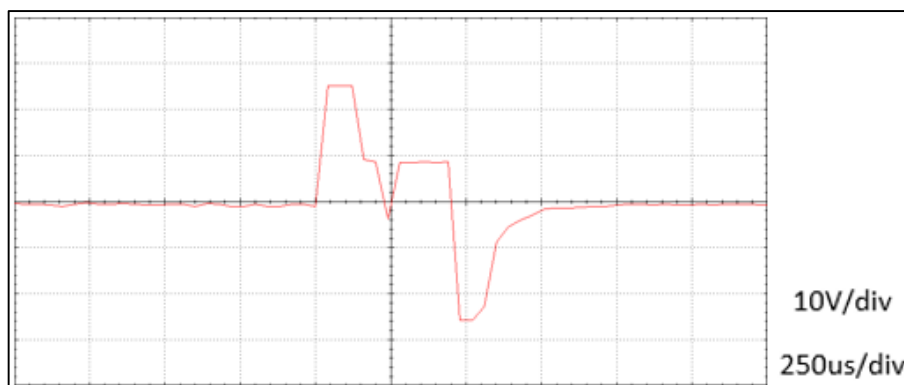


Figura 56 Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC alto, con el motor en caliente

La figura 55 indica que el tiempo de apertura de la inyección principal en frío se incrementa en 9,35% ($0,246ms$), mientras que según la figura 56 en caliente el aumento es de 11,23% ($0,287ms$), activando los inyectores con un voltaje de 25V en ambos casos.

Tabla 16
Datos obtenidos cuando el sensor ECT presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m^{-1})	N (%)	TOTAL (ms)
ECT	HIGH	35-55	36	4529	1,10	35,60	0,200
			42	4638	0,36	13,41	0,262
			46	4664	0,29	10,95	0,275
		Promedio	41,33	4610,33	0,58	19,99	0,246
		80-100	87	4795	0,81	27,67	0,350
			89	4808	0,43	15,80	0,237
			90	4818	0,46	16,81	0,275
			Promedio	88,67	4807	0,57	20,09

Se observa en la tabla que se definieron de tres mediciones para cada una de las pruebas con DTC del sensor en alto. Con los tiempos de inyección promedios especificados anteriormente se dieron las siguientes condiciones: $41,33^{\circ}C$ de temperatura promedio del motor y $4610,33rpm$ para la prueba a baja temperatura; $88,67^{\circ}C$ de temperatura promedio y $4807rpm$ para la prueba en caliente. La opacidad promedio en las medidas en frío es del 19,99% ($0,58m^{-1}$), mientras que en caliente se obtuvo un 20,09% ($0,57m^{-1}$).

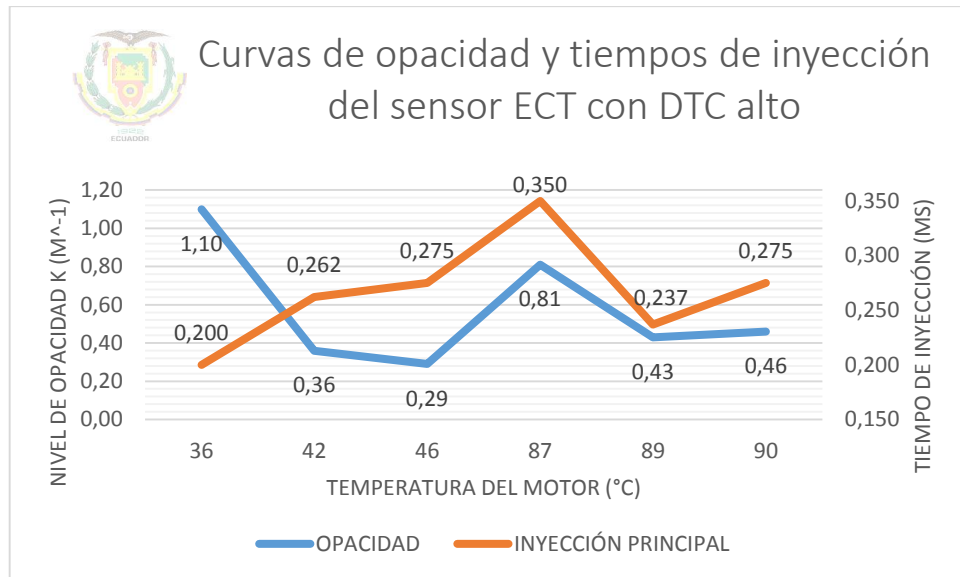


Figura 57 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor ECT presenta DTC alto, en frío y caliente

Se puede observar que únicamente la primera prueba tanto a baja como a alta temperatura, arroja valores más altos de opacidad, con $1,1\text{m}^{-1}$ (35,60%) como máximo a los 36°C . Una vez adaptado a las condiciones se regulan los niveles de opacidad generados, llegando a un mínimo de $0,29\text{m}^{-1}$ (10,95%) a los 46°C .

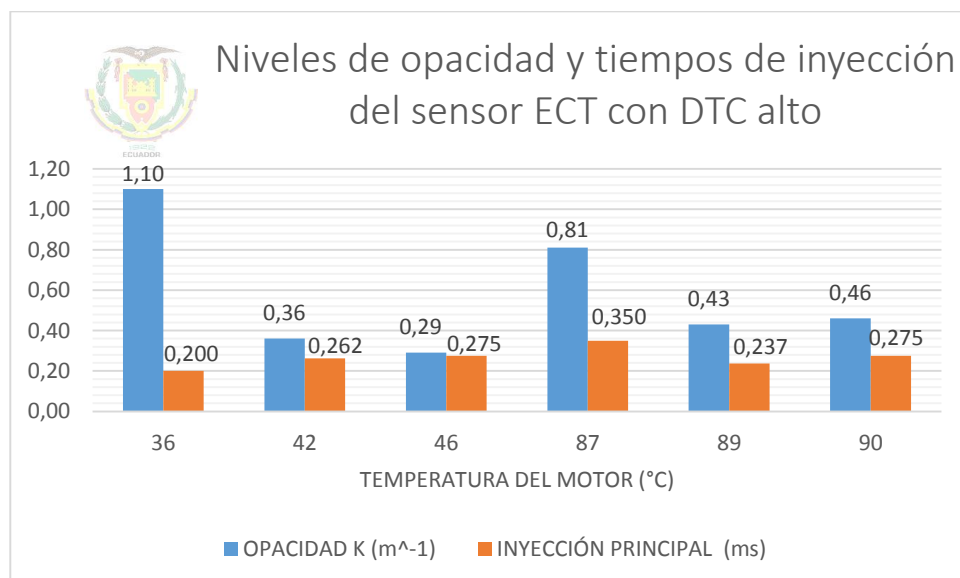


Figura 58 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor ECT presenta DTC alto, en frío y caliente

Los tiempos de inyección oscilan entre los $0,200mS$ y los $0,350mS$, siendo estos en que producen mayores niveles de opacidad en las pruebas.

- **DTC bajo (LOW)**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0117	Engine Coolant Temperature Sensor 1 Circuit Low	Presente

Figura 59 Reconocimiento del DTC del ECT en código bajo

Al presentarse este DTC, la computadora muestra que la temperatura de refrigerante es de $139^{\circ}C$.

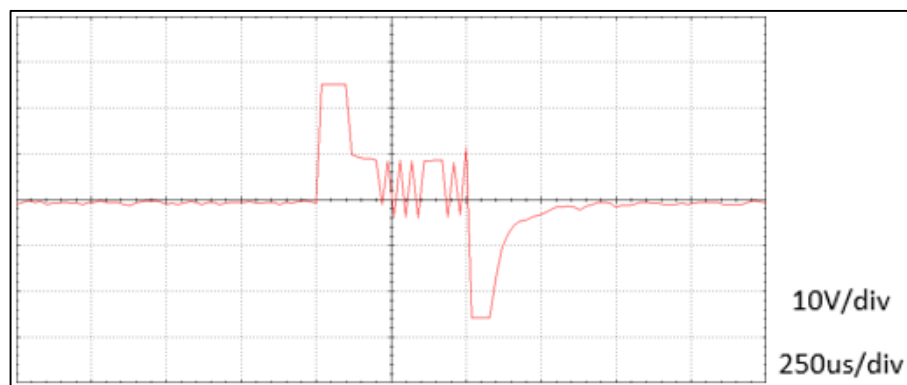


Figura 60 Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, con el motor en frío

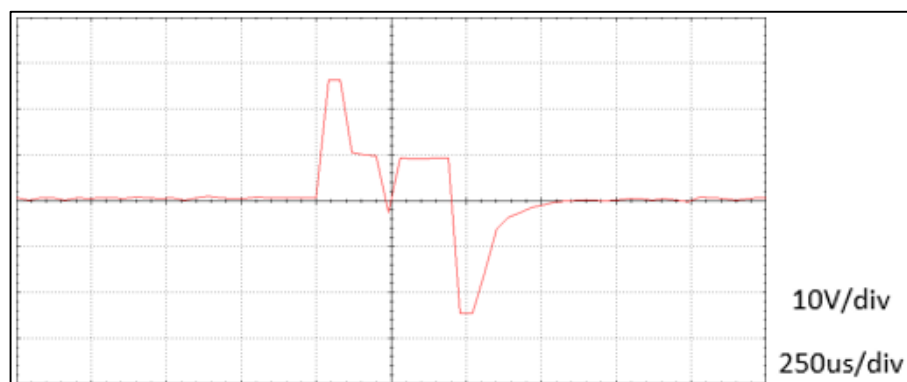


Figura 61 Oscilograma de inyección cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, con el motor en caliente

La figura 60 indica que la duración del tiempo de inyección disminuye en un 5,49% (0,212ms) en frío y 8,26% (0,237ms) con el motor caliente según la figura 61, con un voltaje de activación del inyector de 25V en ambos casos.

Tabla 17
Datos obtenidos cuando el sensor ECT presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
ECT	LOW	35-55	41	4626	0,93	31,06	0,200
			46	4656	0,55	19,75	0,212
			49	4680	0,53	19,10	0,225
		Promedio	45,33	4654	0,67	23,31	0,212
		80-100	86	4815	0,84	28,54	0,237
			88	4820	0,44	16,14	0,237
			89	4821	0,45	16,47	0,237
			Promedio	87,67	4818,67	0,58	20,38

Los valores promedios en frío son de 45,33°C de temperatura del motor, 4654 rpm para el régimen del motor; para pruebas en caliente se tiene 87,67°C de temperatura del motor y 4818,67 rpm. La opacidad promedio con DTC bajo es del 23,31% (0,67m⁻¹) en las pruebas en frío, y del 20,38% (0,58m⁻¹) en el caso de las pruebas en caliente.

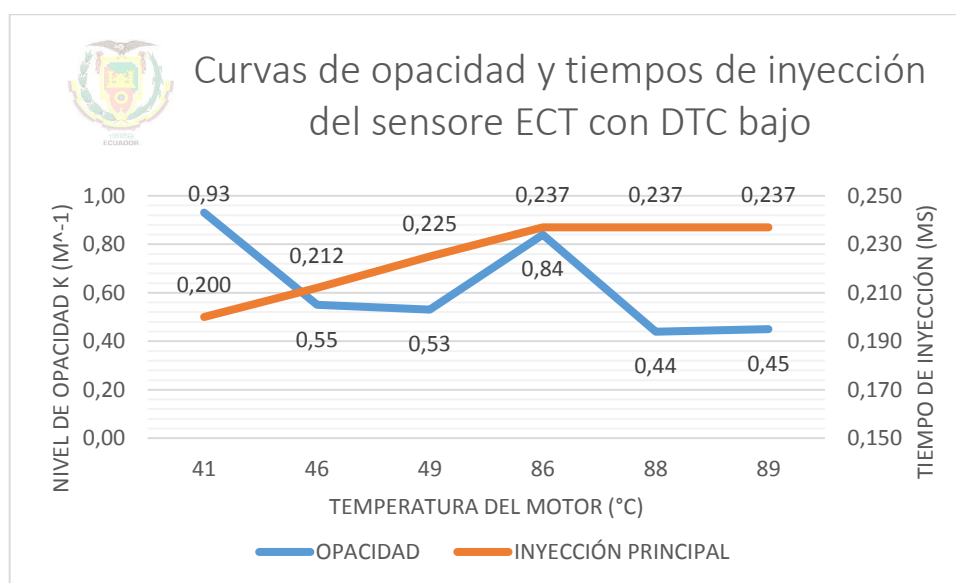


Figura 62 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, en frío y caliente

La curva del tiempo de inyección llega a estabilizarse a un valor en las últimas tres pruebas en $0,237\text{ms}$. La opacidad se altera únicamente en las primeras mediciones, con el máximo a 41°C , de $31,06\%$ ($0,93\text{m}^{-1}$).

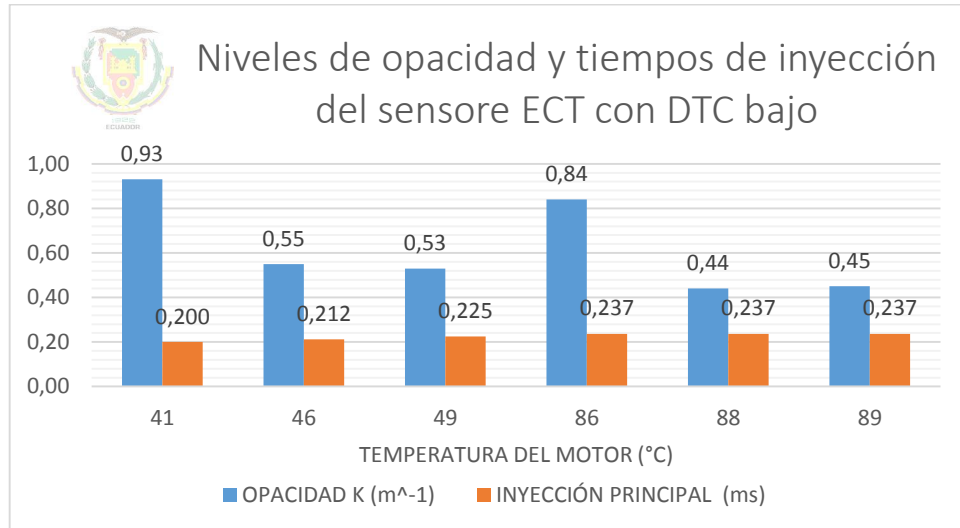


Figura 63 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor ECT presenta DTC bajo, en frío y caliente

- Resumen de los DTC del sensor ECT

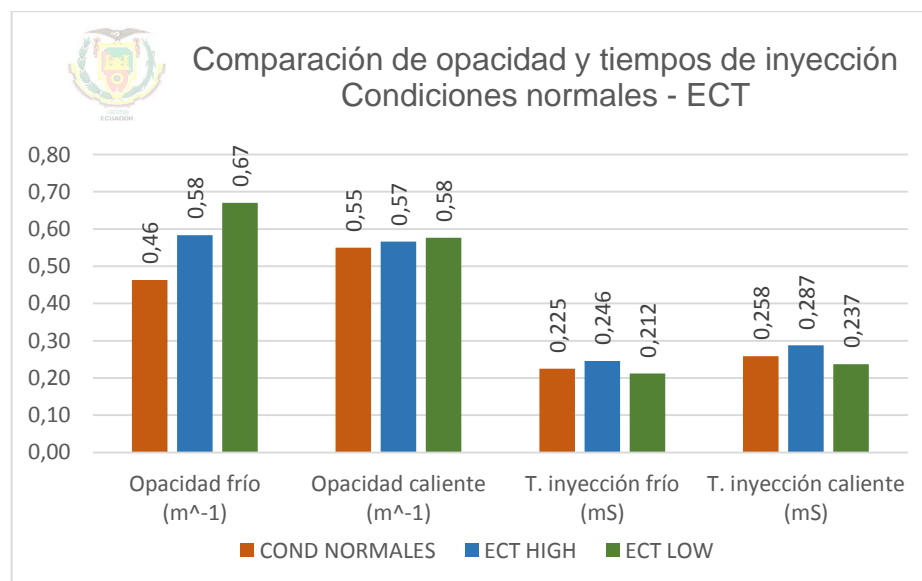


Figura 64 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor ECT

Los niveles de opacidad tanto en frío como en caliente se incrementan cuando el sensor presenta un código de falla bajo (LOW). El tiempo de inyección para ambas temperaturas de funcionamiento del motor aumenta para el DTC alto (HIGH) y disminuye cuando el DTC es bajo (LOW).

4.2.2. Sensor de temperatura del combustible – FTS

Cuando se genera cualquier DTC en este sensor, la ECU registra que el combustible está a 80°C.

- **DTC alto (HIGH)**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0183	Fuel Temperature Sensor A Circuit High	Presente

Figura 65 Reconocimiento del DTC del FTS en código alto

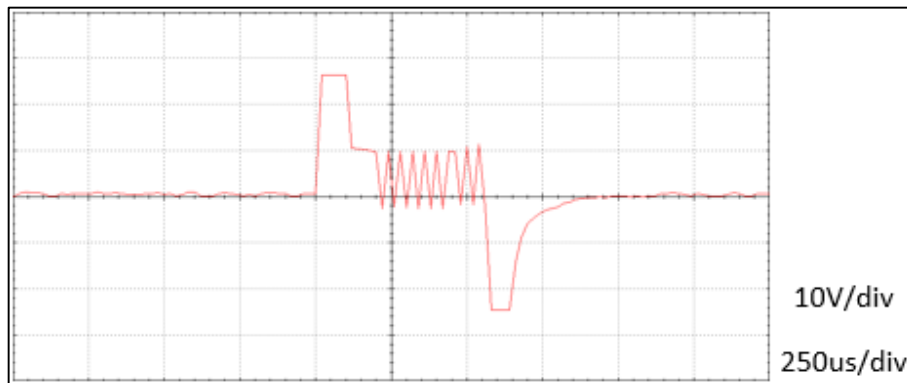


Figura 66 Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC alto, con el motor en frío

Con el motor en frío y considerando el DTC bajo existe una disminución del 1,93% (0,220 mS) en el tiempo de inyección.

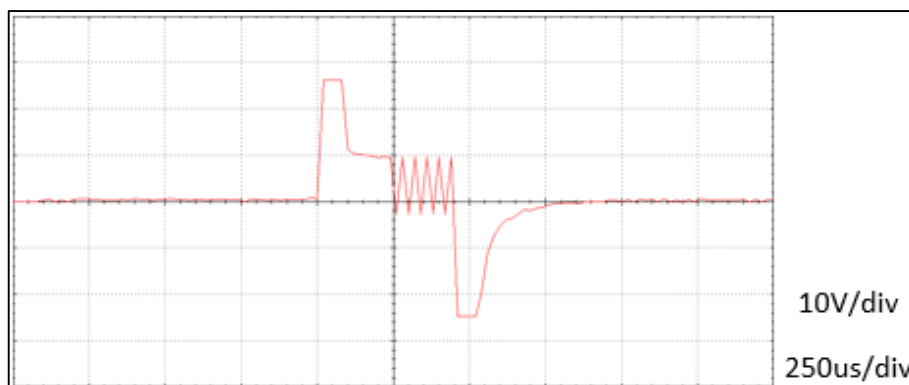


Figura 67 Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC alto, con el motor en caliente

En cambio, cuando el motor funciona a altas temperaturas se da la disminución del tiempo de inyección con un 11,48% (0,229 *mS*), siendo 25V el valor de activación de los inyectores.

Tabla 18
Datos obtenidos cuando el sensor FTS presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
FTS	HIGH	35-55	46	4626	0,42	15,46	0,212
			47	4688	0,41	15,13	0,249
			49	4706	0,46	16,81	0,200
		Promedio	47,33	4673,33	0,43	15,80	0,220
		80-100	83	4835	0,34	12,72	0,224
			84	4746	0,40	14,79	0,250
			86	4882	0,46	16,81	0,212
			Promedio	84,33	4821	0,40	14,77

Para los dos casos los tiempos de inyección han disminuido, en la prueba en frío la temperatura promedio es de 47,33°C a una velocidad del motor de 4673,33 rpm. Para las pruebas en caliente se estableció una temperatura promedio de 84,33°C y el régimen del motor es de 4821 rpm. La opacidad generada cuando se da el DTC alto en el sensor FTS es de 15,8% (0,43 m⁻¹) en frío, y en caliente es de 14,77% (0,40 m⁻¹).

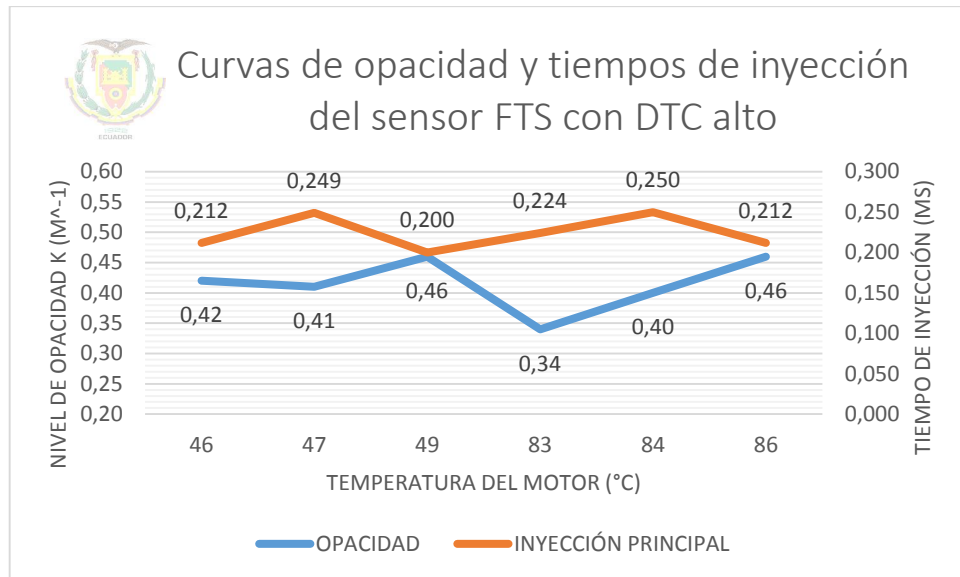


Figura 68 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor FTS presenta DTC alto, en frío y caliente

La curva de tiempo de inyección muestra que los valores oscilan entre $0,200\text{ms}$ y $0,250\text{ms}$, la curva de opacidad muestra que esta se encuentra entre $0,34\text{m}^{-1}$ (12,72%) y $0,46\text{m}^{-1}$ (16,81%).

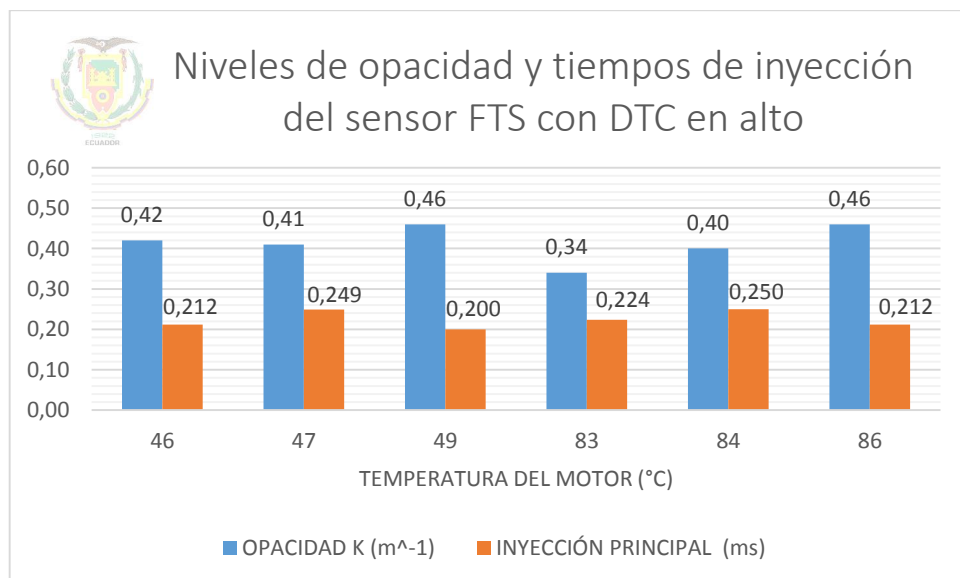


Figura 69 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor FTS presenta DTC alto, en frío y caliente

- **DTC bajo (LOW)**

Como el DTC genera el mismo PID, la ECU actúa de igual manera que en la falla del sensor en alto.

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0182	Fuel Temperature Sensor A Circuit Low	Presente

Figura 70 Reconocimiento del DTC del FTS en código bajo

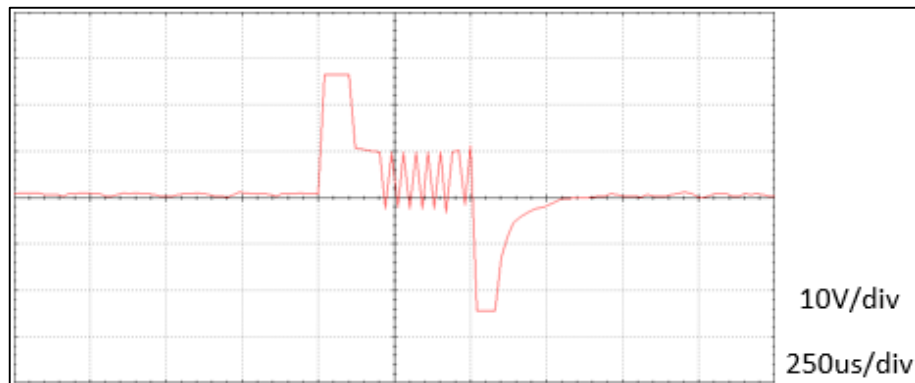


Figura 71 Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC bajo, con el motor en frío

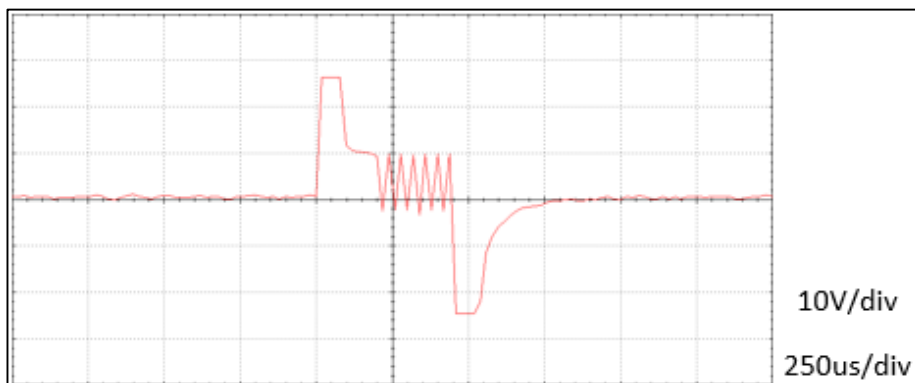


Figura 72 Oscilograma de inyección cuando el sensor FTS presenta DTC alto, con el motor en caliente

En las figuras anteriores se observa el tiempo de inyección que disminuye 7,42% (0,208 *mS*) para el caso de las pruebas a baja temperatura, para el

funcionamiento en caliente, decrece un 19,61% (0,208 ms). Los inyectores son activados con 25V en los dos casos.

Tabla 19
Datos obtenidos cuando el sensor FTS presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
FTS	LOW	35-55	46	4549	0,36	13,41	0,212
			47	4523	0,37	13,76	0,200
			50	4728	0,38	14,10	0,212
		Promedio	47,67	4600	0,37	13,76	0,208
		80-100	83	4862	0,37	13,76	0,199
			84	4871	0,41	15,13	0,212
			84	4879	0,41	15,13	0,212
			Promedio	83,67	4870,67	0,40	14,67

Para el primer valor de inyección establecido previamente se tiene una temperatura promedio del motor de 47,67°C a 4600 rpm con opacidad promedio de 13,76% (0,37m⁻¹), y para la prueba en caliente una temperatura de 83,67°C, velocidad del motor de 4870,67 rpm y opacidad de 14,67% (0,40m⁻¹).

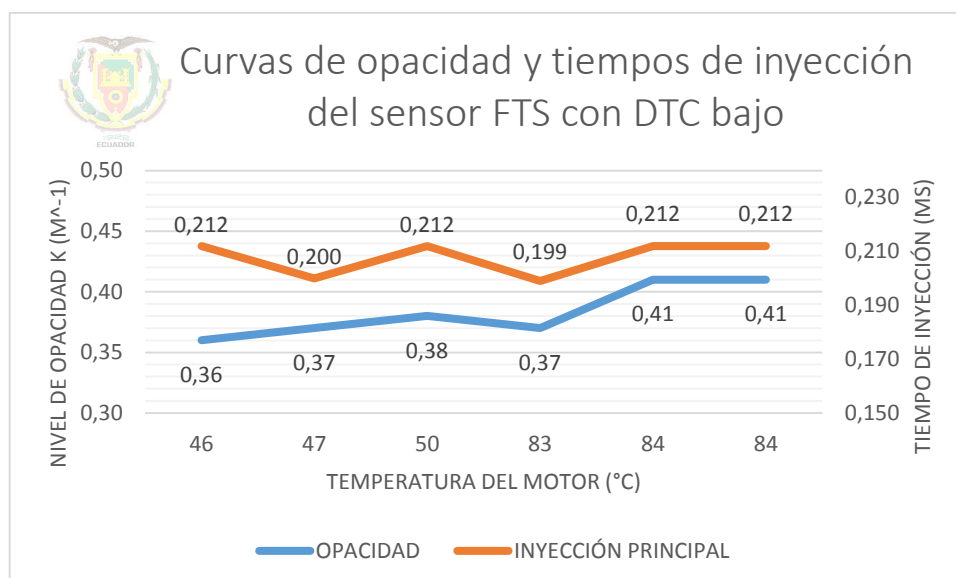


Figura 73 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor FTS presenta DTC bajo, en frío y caliente

Los tiempos de inyección oscilan entre $0,200\text{ms}$ y $0,212\text{ms}$, lo cual representa una mínima variación. La opacidad se encuentra en un rango de $0,36\text{m}^{-1}$ (13,41%) a $0,41\text{m}^{-1}$ (15,13%).

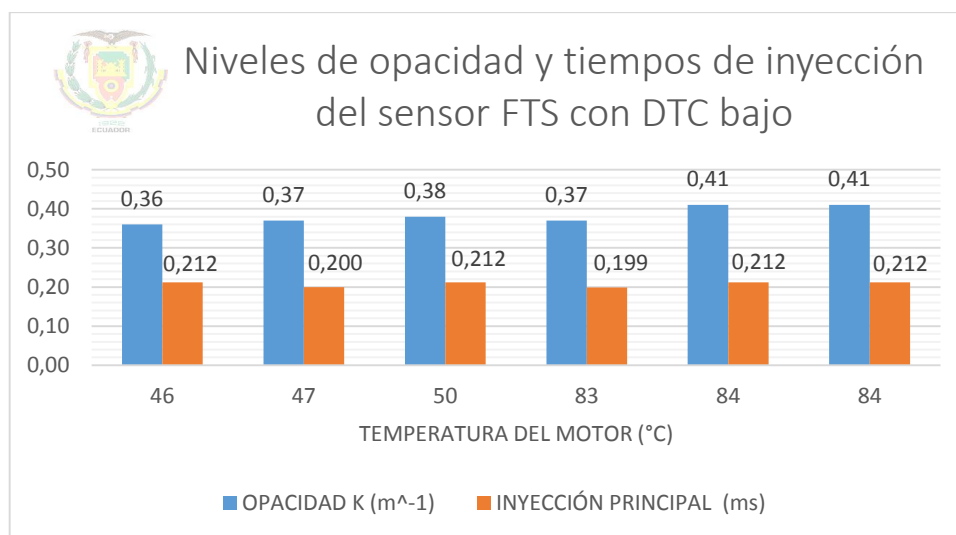


Figura 74 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor FTS presenta DTC bajo, en frío y caliente

- Resumen de los DTC del sensor FTS

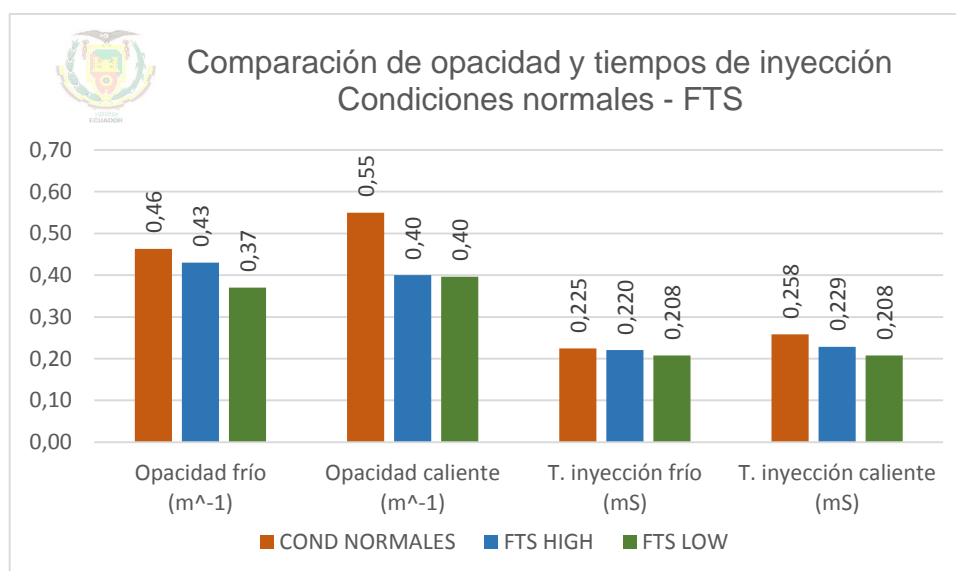


Figura 75 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor FTS

En comparación a las condiciones normales de funcionamiento del motor las fallas en alto y bajo del sensor FTS actúan de forma similar, pues la ECU considera la misma información en ambos casos.

Así, la opacidad disminuye escalonadamente para las pruebas en frío, y es más notable cuando el motor funciona en caliente; los tiempos de inyección en frío tienden a ser constantes, en caliente van disminuyendo en cada caso.

4.2.3. Sensor de temperatura del aire de admisión en el depurador - IAT1

- DTC alto (HIGH)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0113	Intake Air Temperature Sensor 1 Circuit High (Bank 1)	Presente

Figura 76 Reconocimiento del DTC del IAT1 en código alto

En los PID del scanner se identifica la temperatura ambiente en el depurador con un valor de -40°C .

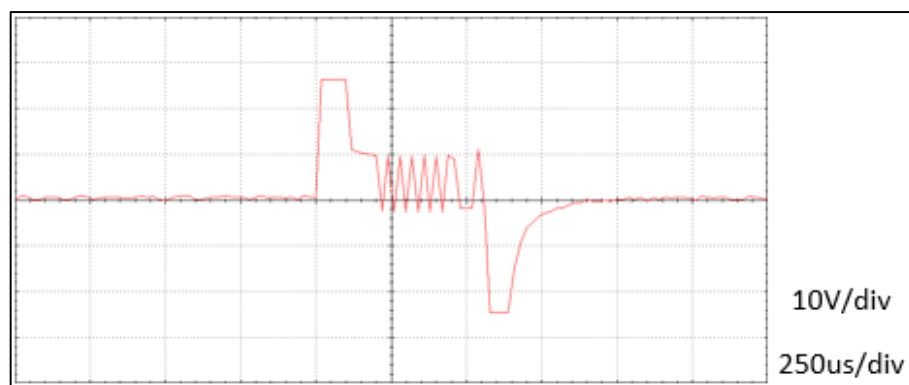


Figura 77 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, con el motor en frío

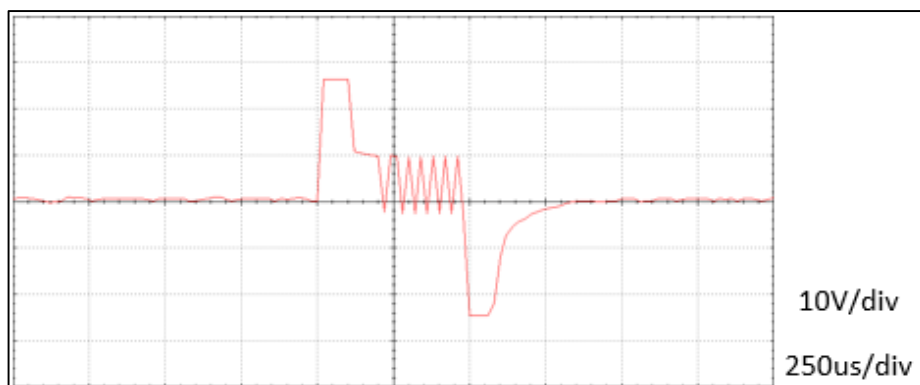


Figura 78 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, con el motor en caliente

La duración promedio de los tiempos de inyección para la falla en alto es de: $0,249\text{ms}$ (10,98% más) para la prueba en frío, y de $0,233\text{ms}$ (9,94% menos) para el caso de las pruebas en caliente. Además el valor de activación de los inyectores es de 25V aproximadamente en ambos casos.

Tabla 20
Datos obtenidos cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m^{-1})	N (%)	TOTAL (ms)
IAT1	HIGH	35-55	40	4653	0,64	22,59	0,262
			42	4678	0,52	18,78	0,224
			44	4703	0,53	19,10	0,262
		Promedio	42	4678	0,56	20,16	0,249
		80-100	85	4835	0,44	16,14	0,212
			84	4727	0,46	16,81	0,224
			84	4875	0,49	17,80	0,262
		Promedio	84,33	4812,33	0,46	16,91	0,233

Según la tabla las pruebas en frío fueron a un promedio de 42°C , velocidad promedio del motor de 4678 rpm, y opacidad de 20,16% ($0,56\text{m}^{-1}$), con el tiempo de inyección especificado anteriormente. De igual manera las condiciones para las pruebas en caliente son: una temperatura promedio del motor de $84,33^{\circ}\text{C}$, el régimen del motor de 4812,33 rpm y opacidad de 16,91 ($0,46\text{m}^{-1}$).

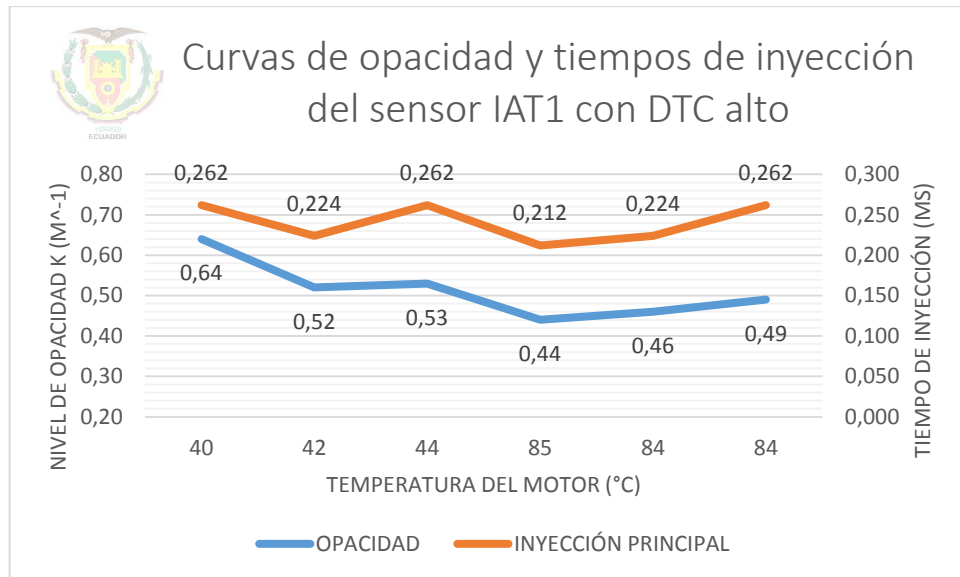


Figura 79 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, en frío y caliente

El comportamiento de las curvas tanto de nivel de opacidad como de tiempo de inyección se da de manera similar, la inyección da valores muy regulares, sobretodo de $0,262\text{ms}$ y de $0,224\text{ms}$. La opacidad se maneja en un rango de $0,44\text{m}^{-1}$ (16,14) a $0,64\text{m}^{-1}$ (22,59%).

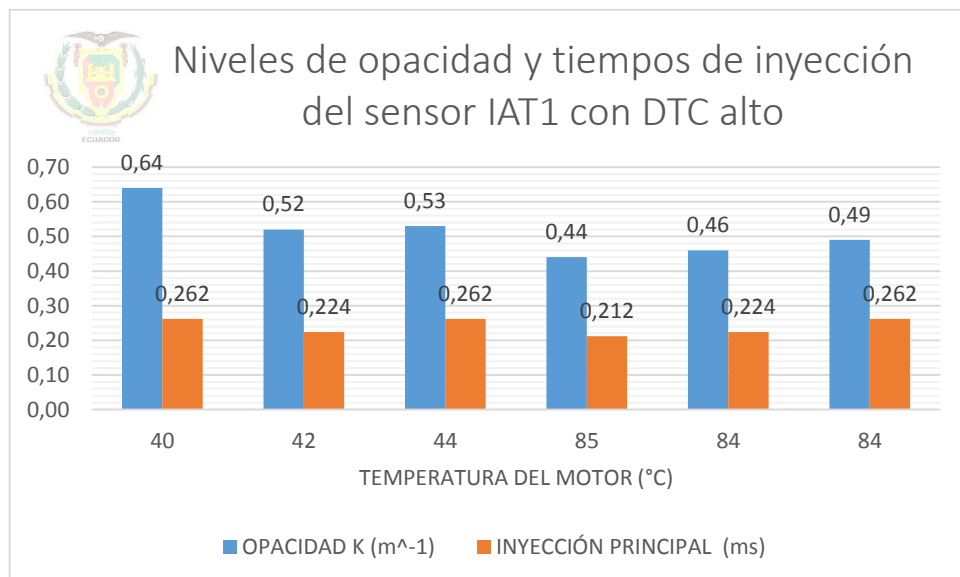


Figura 80 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC alto, en frío y caliente

- DTC bajo (LOW)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0112	Intake Air Temperature Sensor 1 Circuit Low (Bank 1)	Presente

Figura 81 Reconocimiento del DTC del IAT1 en código bajo

Se establece como temperatura ambiente el valor de 130°C, con el cual la ECU controlará los parámetros dependientes.

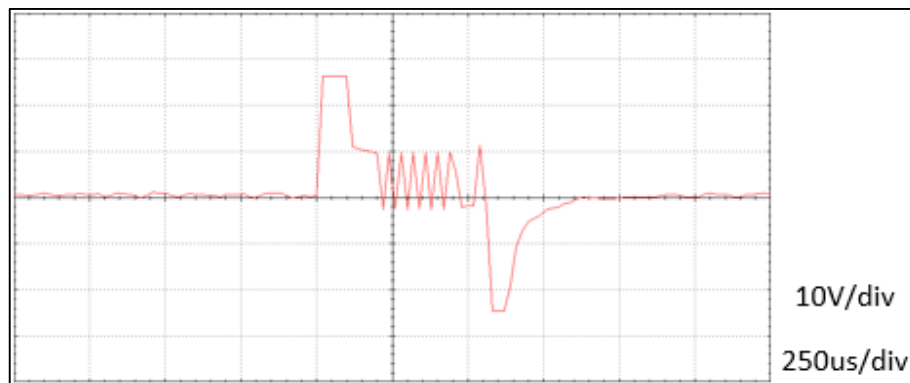


Figura 82 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, con el motor en frío

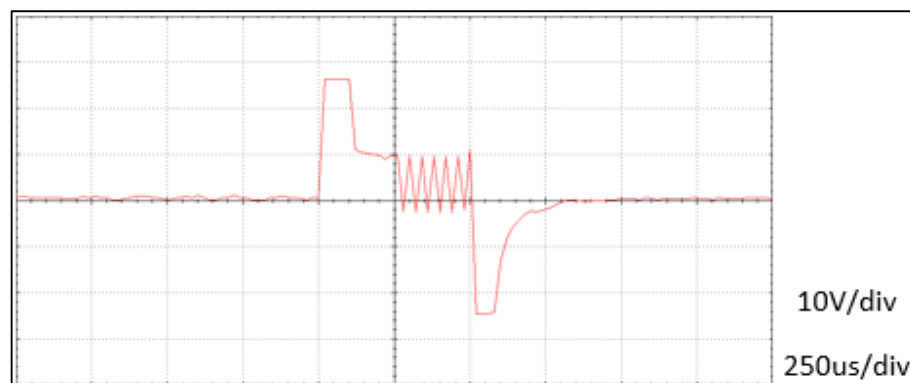


Figura 83 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, con el motor en caliente

Los inyectores son activados con 25V. Para el caso de las mediciones en frío con un valor de 0,250ms (11,13% más) y para las pruebas en caliente con 0,258ms (0,13% menos).

Tabla 21
Datos obtenidos cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
IAT1	LOW	35-55	46	4624	0,52	18,78	0,262
			47	4693	0,50	18,13	0,225
			49	4724	0,55	19,75	0,262
		Promedio	47,33	4680,33	0,52	18,88	0,250
		80-100	79	4820	0,38	14,10	0,275
			81	4854	0,44	16,14	0,224
			82	4852	0,45	16,47	0,275
			Promedio	80,67	4842	0,42	15,57

El promedio de baja temperatura es de 47,33°C, el régimen del motor es 4680,33 rpm y la opacidad promedio 18,88% (0,52m⁻¹), en el caso de alta temperatura es de 80,67°C, con una velocidad de motor promedio de 4842 rpm y nivel de opacidad de 15,57% (0,42m⁻¹).

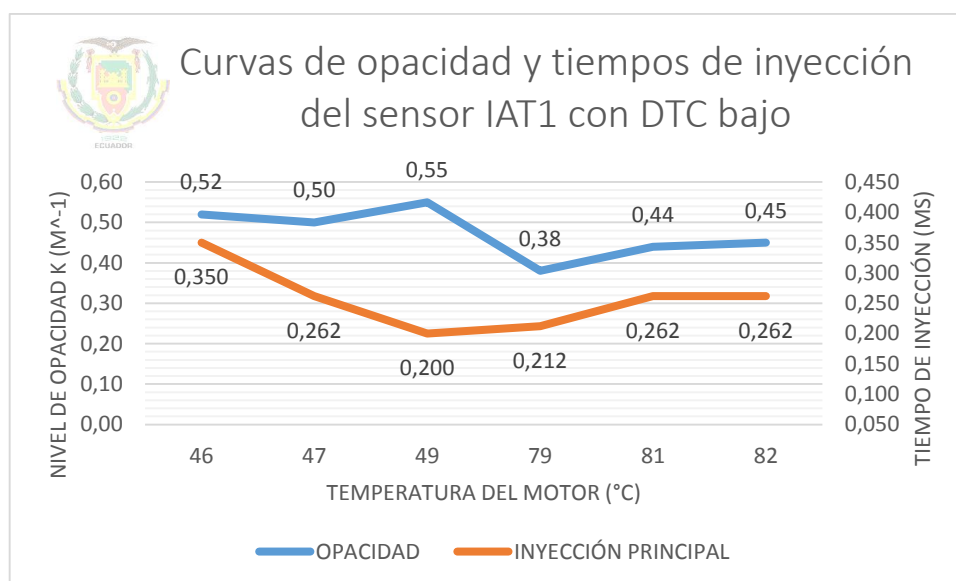


Figura 84 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, en frío y caliente

La curva de inyección muestra una disminución muy notable pero que llega a estabilizarse en las últimas mediciones en 0,262ms. Se da un nivel mayor de opacidad para la prueba en frío, entre 0,50 y 0,55m⁻¹, y esta se reduce para la prueba en caliente de 0,38 a 0,45m⁻¹.

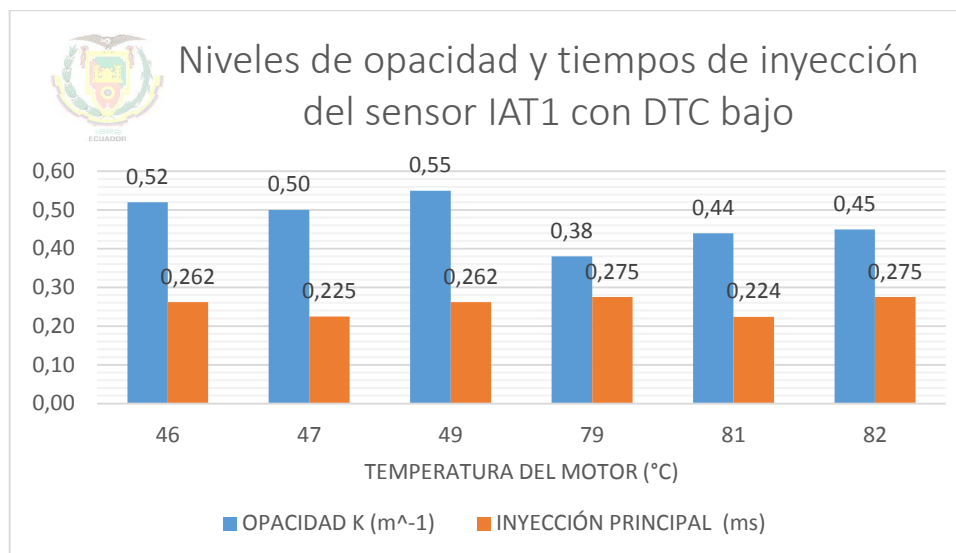


Figura 85 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT1 presenta DTC bajo, en frío y caliente

- Resumen de los DTC del sensor IAT1

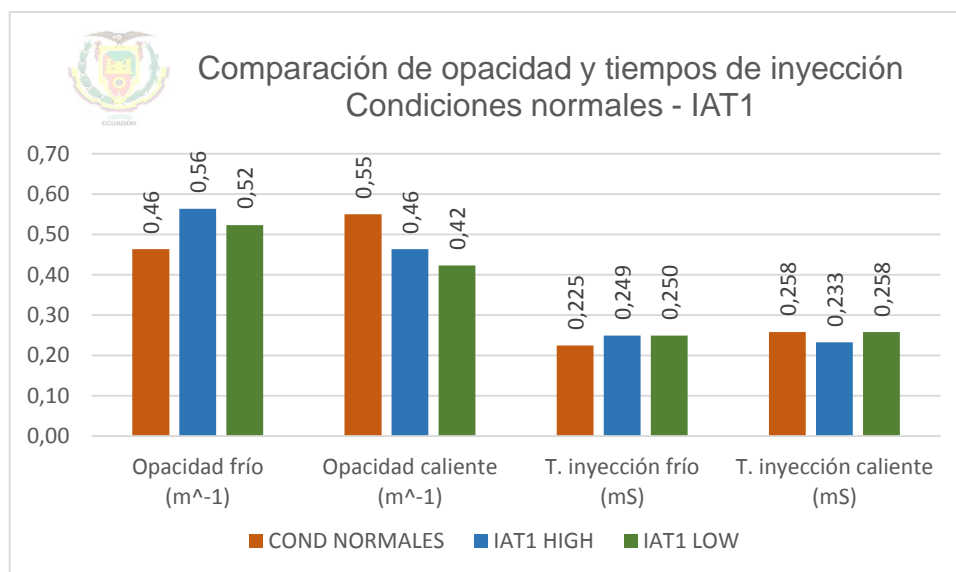


Figura 86 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor IAT1

Los niveles de opacidad en las pruebas en frío son mayores al de condiciones normales, sin embargo para las pruebas en caliente la opacidad está por debajo del valor en condiciones normales. Los tiempos de inyección se elevan para las pruebas a baja temperatura, y es más constante para el caso de las pruebas a alta temperatura.

4.2.4. Sensor de temperatura del aire de admisión en el turbo – IAT2

- DTC alto (HIGH)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0098	Intake Air Temperature Sensor 2 Circuit High (Bank 1)	Presente

Figura 87 Reconocimiento del DTC del IAT2 en código alto

La temperatura del aire de admisión es reconocida como -40°C , censado en el múltiple de admisión después de la compresión del aire por parte del turbo - compresor.

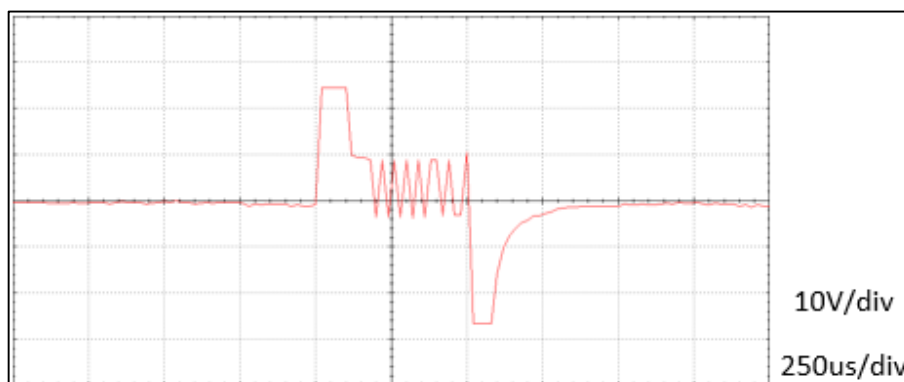


Figura 88 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, con el motor en frío

En el caso de la prueba en frío la duración del tiempo de inyección es de $0,212\text{mS}$, activando el inyector a 25V.

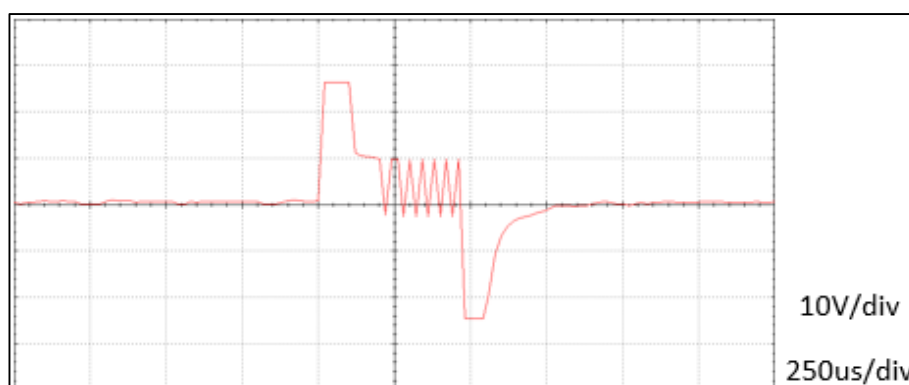


Figura 89 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, con el motor en caliente

Para la prueba en caliente la duración promedio de la inyección fue de 0,225ms, de igual manera el actuador fue activado con un voltaje de 25V.

Tabla 22
Datos obtenidos cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
IAT2	HIGH	35-55	36	4617	0,96	31,89	0,237
			38	4644	0,52	18,78	0,200
			40	4657	0,52	18,78	0,199
		Promedio	38	4639,33	0,67	23,15	0,212
		80-100	80	4827	0,33	12,37	0,250
			82	4845	0,39	14,44	0,212
			83	4857	0,40	14,79	0,212
		Promedio	81,67	4843	0,37	13,87	0,225

Con valores de tiempo de inyección especificados anteriormente se dieron bajo las siguientes condiciones: la temperatura promedio del motor para la prueba en frío fue de 38°C, la velocidad promedio del motor de 4639,33 rpm, y opacidad de 0,67m⁻¹ (23,15%), para el valor de inyección a alta temperatura se tiene una temperatura promedio del motor de 81,67°C, el régimen del motor de 4843 rpm y niveles promedio de opacidad de 0,37m⁻¹ (13,87%).

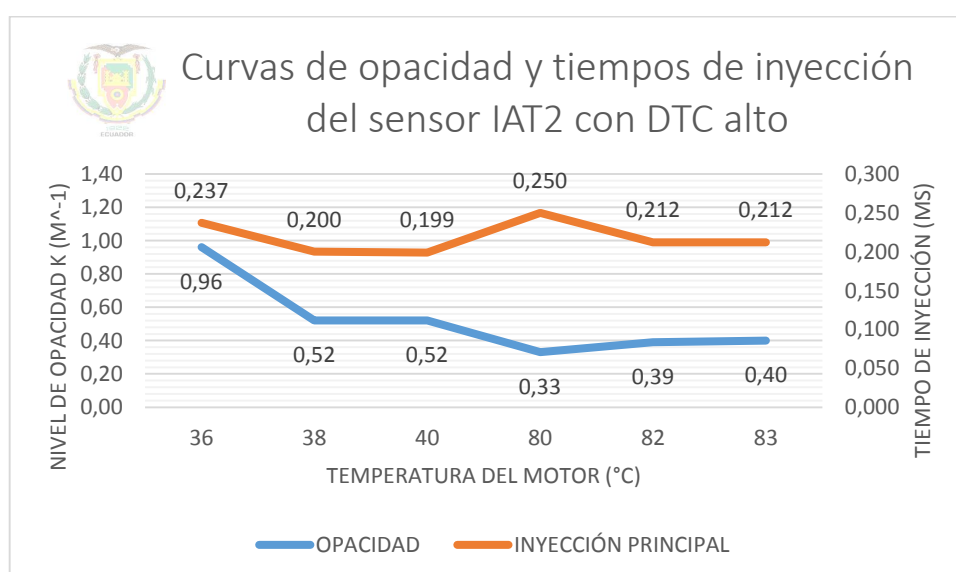


Figura 90 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, en frío y caliente

La curva de inyección principal muestra que se desarrolla en un rango de $0,200\text{ms}$ hasta un máximo de $0,250\text{ms}$, llegando a regularse en las últimas pruebas en $0,212\text{ms}$. La opacidad lleva una continua reducción en las pruebas en frío, mientras en las pruebas en caliente presenta los menores niveles.

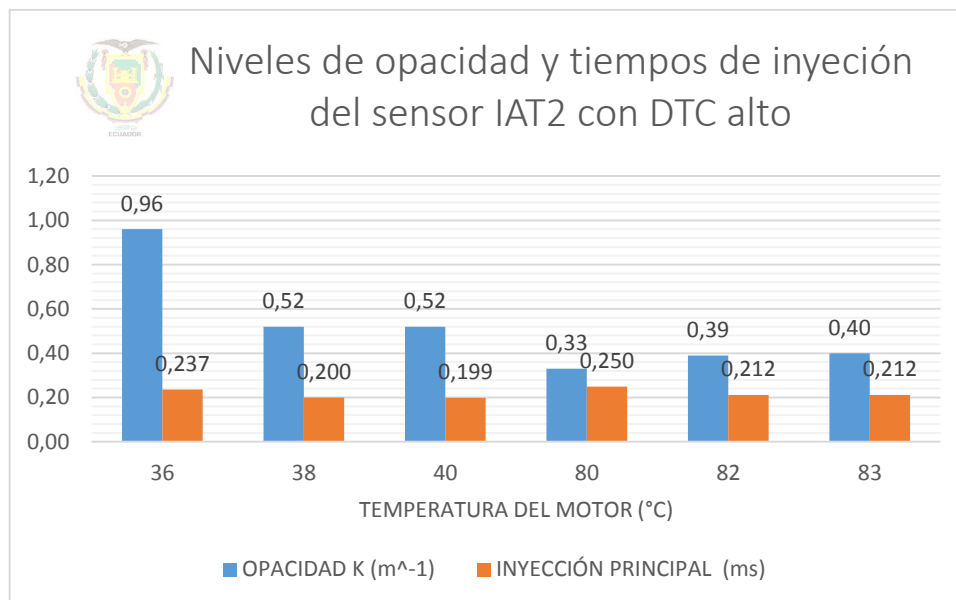


Figura 91 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC alto, en frío y caliente

- **DTC bajo (LOW)**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0097	Intake Air Temperature Sensor 2 Circuit Low (Bank 1)	Presente

Figura 92 Reconocimiento del DTC del IAT2 en código bajo

Los PID muestran el valor de temperatura del aire de admisión, el cual ronda los 113°C .

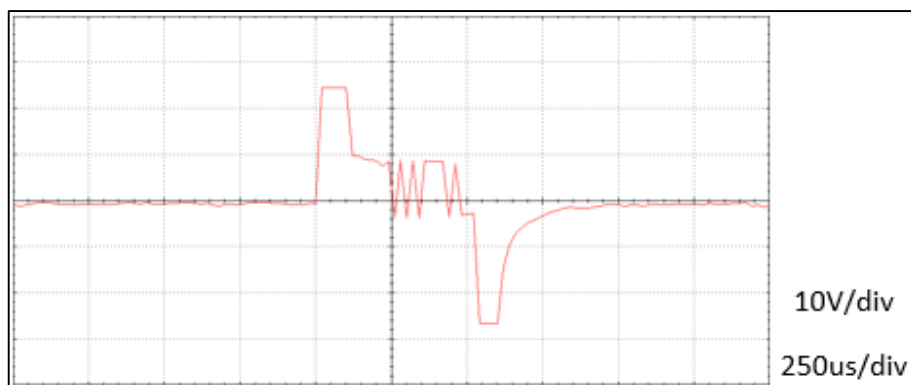


Figura 93 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, con el motor en frío

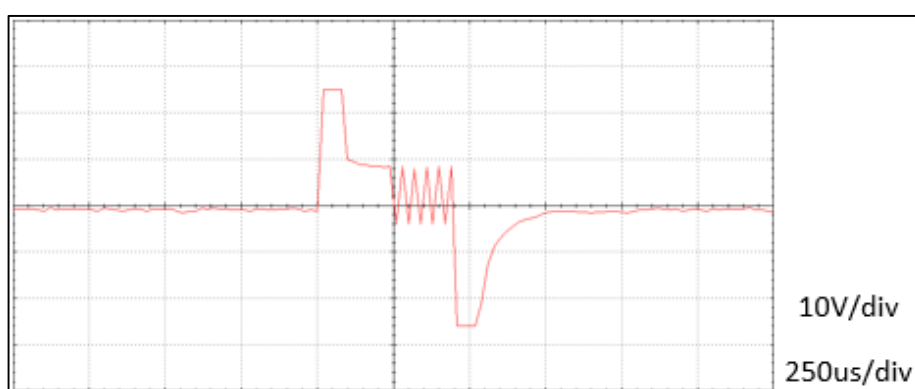


Figura 94 Oscilograma de inyección cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, con el motor en caliente

Los tiempos de inyección tienen una duración promedio de $0,271\text{ms}$ en el caso de las mediciones a baja temperatura, y de $0,245\text{ms}$ para las mediciones realizadas a alta temperatura.

Tabla 23

Datos obtenidos cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m^{-1})	N (%)	TOTAL (ms)
IAT2	LOW	35-55	36	4603	0,42	15,46	0,350
			38	4641	0,31	11,66	0,262
			41	4668	0,31	11,66	0,200
		Promedio	38,33	4637,33	0,35	12,93	0,271
		80-100	85	4838	0,48	17,47	0,212
			84	4857	0,42	15,46	0,262
			84	4861	0,44	16,14	0,262
			Promedio	84,33	4852	0,45	16,36

La temperatura promedio de 38,33°C, régimen del motor a 4637,33rpm y opacidad de 12,93% ($0,35m^{-1}$) con el correspondiente tiempo de inyección, y con la temperatura de 84,33°C, velocidad promedio del motor a 4852rpm se genera un nivel de opacidad promedio de 16,35% ($0,45m^{-1}$).

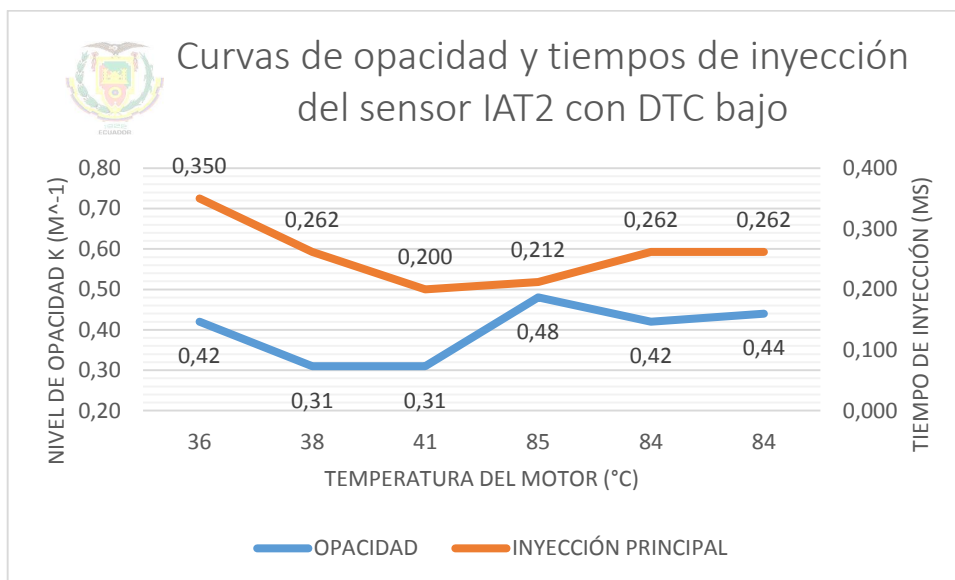


Figura 95 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, en frío y caliente

El tiempo de inyección principal tiende a disminuir en las mediciones realizadas a baja temperatura, mientras que en las mediciones a alta temperatura se estabiliza en $0,262ms$.

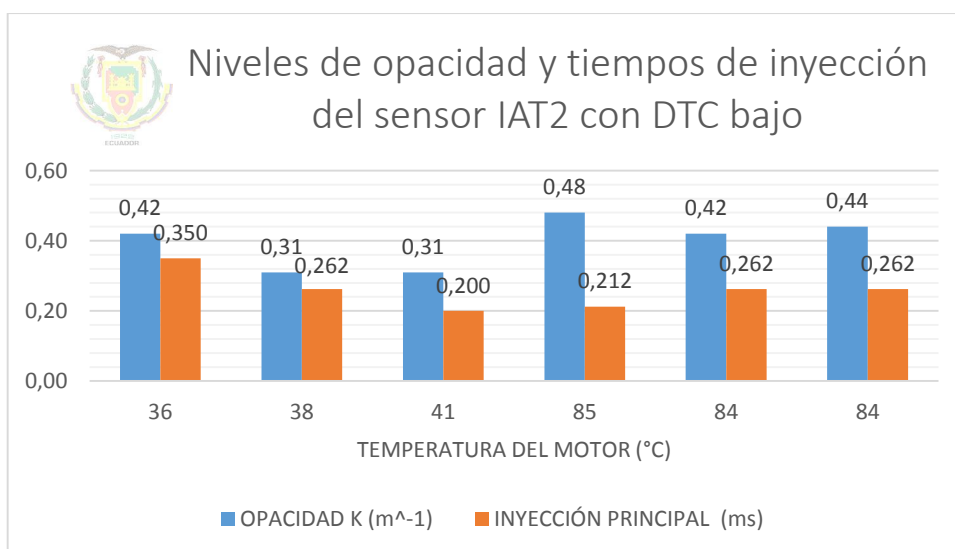


Figura 96 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor IAT2 presenta DTC bajo, en frío y caliente

- **Resumen de los DTC del sensor IAT2**

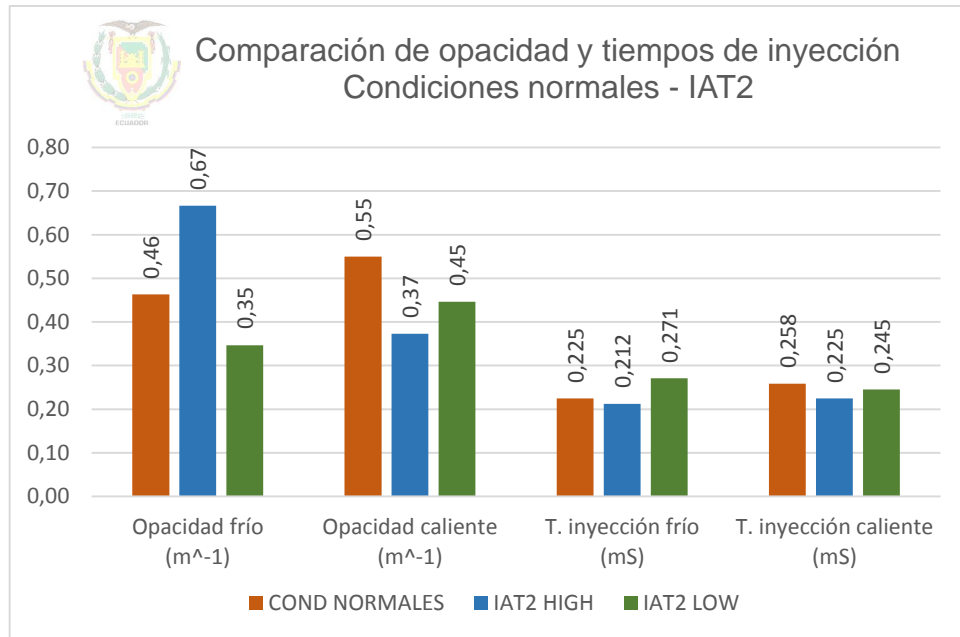


Figura 97 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor IAT2

En el caso de la opacidad en frío se observa que se produce mayor opacidad cuando se presenta el DTC en alto con $0,67\text{m}^{-1}$ a comparación del DTC en bajo. De las pruebas en caliente el nivel de opacidad baja para ambos casos, para frío a $0,35\text{m}^{-1}$ y para caliente $0,45\text{m}^{-1}$.

El tiempo de inyección para las pruebas en frío disminuye con el DTC en alto a $0,212\text{mS}$, y aumenta con el DTC en bajo durando $0,271\text{mS}$, en las pruebas en caliente disminuye el tiempo de inyección en las dos fallas, siendo $0,225\text{mS}$ en frío y $0,245\text{mS}$ en caliente.

4.3. Sensores de posición

4.3.1. Sensor de posición del pedal del acelerador – APP

- DTC alto (HIGH)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/4)	State
P2135	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A / B Voltage Correlation	Presente
P2136	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A / C Voltage Correlation	Presente
P0123	Throttle/Pedal Position Sensor A Circuit High	Presente
P0222	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit Low	Presente

Figura 98 Reconocimiento del DTC del APP en código alto

Para el DTC del sensor de posición del pedal del acelerador en alto se tiene un voltaje de 5V en todas las mediciones realizadas, lo cual verifica la falla en alto del sensor.

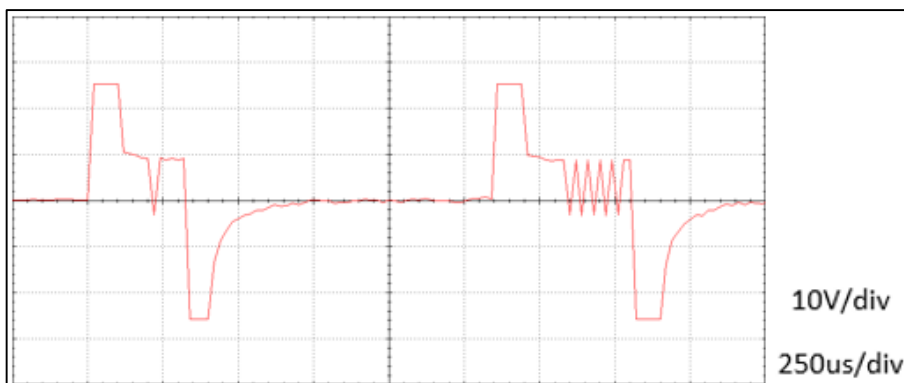


Figura 99 Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC alto, con el motor en frío

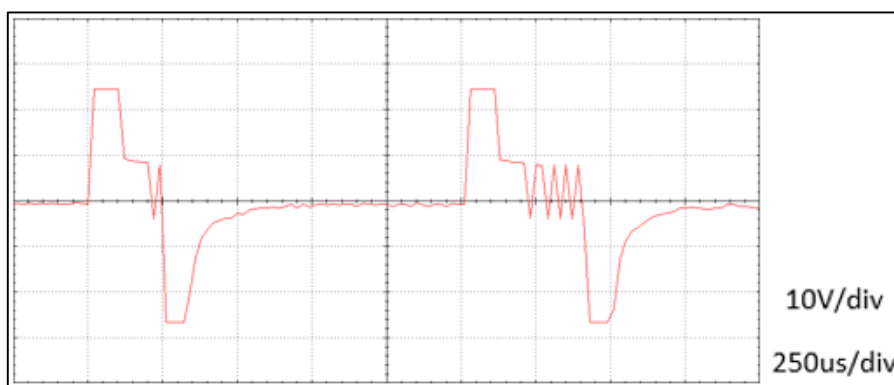


Figura 100 Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC alto, con el motor en caliente

Al presentarse el DTC en el sensor APP el motor no permite revolucionar con normalidad, por lo que se tiene un régimen bajo, así los oscilogramas presentan dos inyecciones, la principal y la pre-inyección.

Para el oscilograma obtenido de la prueba a baja temperatura (Figura 99) se observa que el promedio de la duración de la pre-inyección es de 0,196ms y de la inyección principal 0,216ms (3,71% menos).

En la prueba a alta temperatura (Figura 100) la pre-inyección tiene una duración de 0,212ms y la inyección principal 0,237ms (8,26% menos).

Tabla 24
Datos obtenidos cuando el sensor APP presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE-INYECCIÓN TOTAL (ms)	INYECCIÓN PRINCIPAL TOTAL (ms)
					K (m ⁻¹)	N (%)		
APP	HIGH	35-55	45	3302	0,54	19,43	0,212	0,237
			47	3448	0,52	18,78	0,187	0,212
			48	3470	0,52	18,78	0,190	0,200
		Promedio	46,67	3406,67	0,53	19,00	0,196	0,216
		80-100	83	3591	0,19	7,32	0,212	0,237
			84	3613	0,23	8,79	0,212	0,262
			84	3607	0,25	9,52	0,212	0,212
			Promedio	83,67	3603,67	0,22	8,54	0,212

Con los valores definidos de pre-inyección e inyección principal se generaron las siguientes condiciones: para la prueba en frío la temperatura promedio del motor es 46,67°C, se destaca que únicamente alcanzó una velocidad del motor de 3406,67rpm y la opacidad generada es 19% (0,53m⁻¹); por otro lado, para la prueba en caliente el motor alcanzó una temperatura promedio de 83,67°C con un régimen de giro del motor de 3603,67rpm y produciendo una opacidad de 8,54% (0,22m⁻¹).

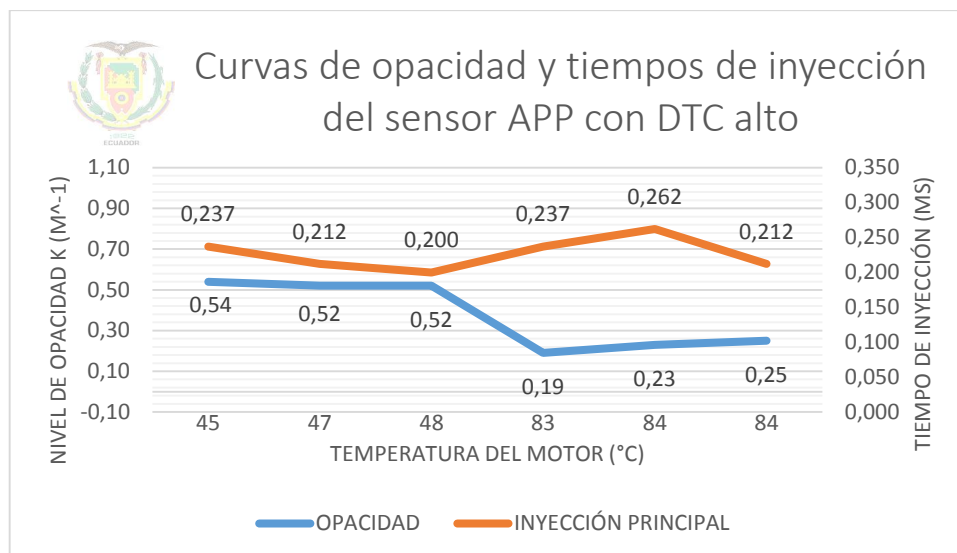


Figura 101 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor APP presenta DTC alto, en frío y caliente

Los valores de inyección principal para las mediciones a baja temperatura son menores que los valores a alta temperatura. Para la curva de opacidad se puede resaltar el cambio entre la prueba en frío y en caliente, siendo en esta última en la que son más bajas.

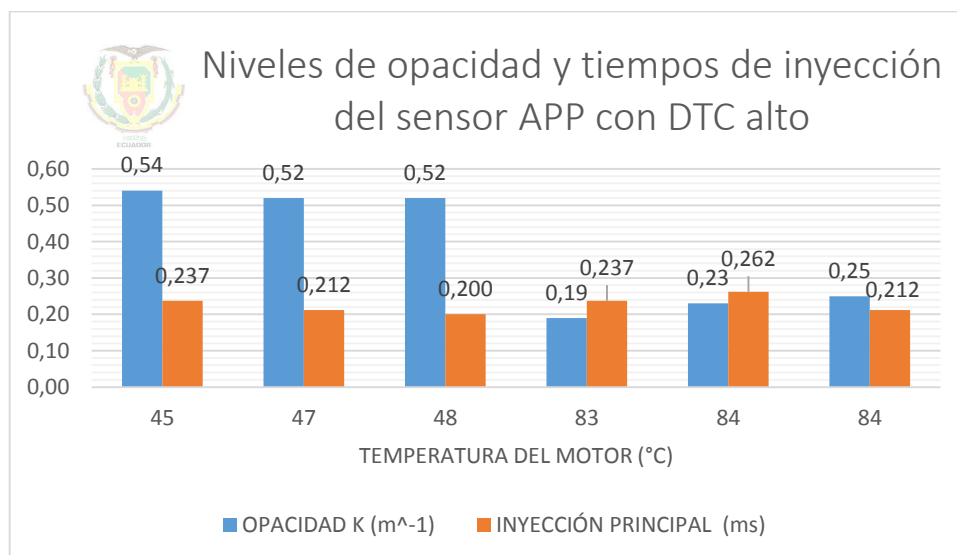


Figura 102 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor APP presenta DTC alto, en frío y caliente

- **DTC bajo (LOW)**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0122	Throttle/Pedal Position Sensor A Circuit Low	Presente
P0222	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit Low	Presente

Figura 103 Reconocimiento del DTC del APP en código bajo

En el scanner presenta el PID del sensor de posición del pedal del acelerador con un valor de 0,04V dado que se trata de un DTC bajo.

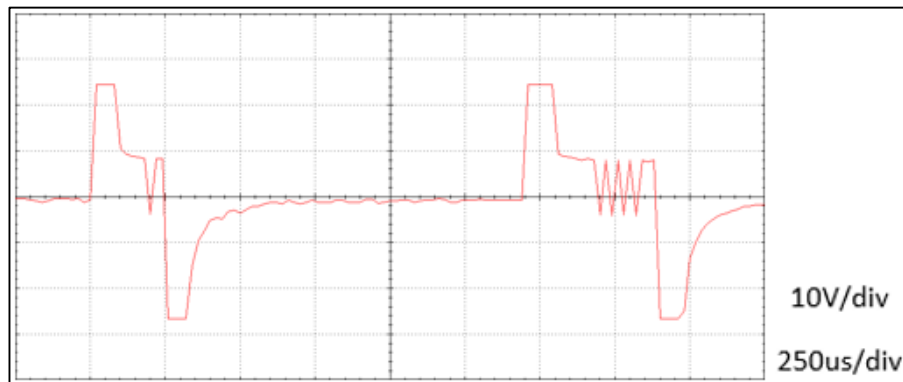


Figura 104 Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC bajo, con el motor en frío

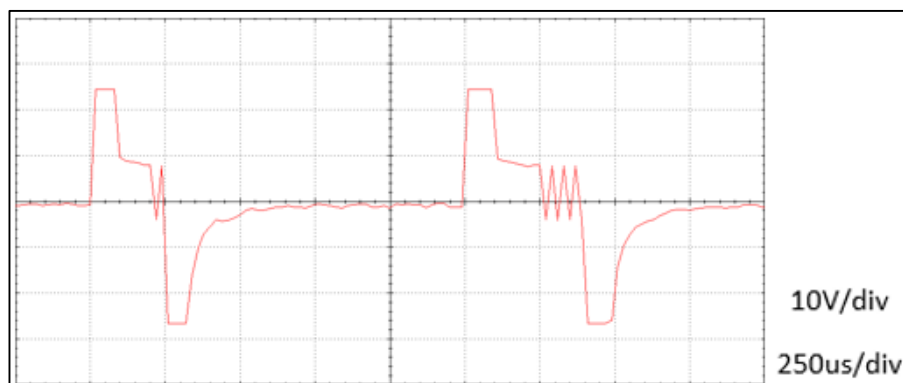


Figura 105 Oscilograma de inyección cuando el sensor APP presenta DTC bajo, con el motor en caliente

De igual manera que el sensor APP con DTC alto, se generó una preinyección extra, para la prueba en frío duró $0,204mS$ y la inyección principal $0,250mS$ (11,13% más), y en la prueba en caliente se da una preinyección de $0,233mS$ e inyección principal de $0,233mS$ (9,81% menos).

Tabla 25
Datos obtenidos cuando el sensor APP presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE-INYECCIÓN	INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)	TOTAL (ms)
APP	LOW	35-55	46	3292	0,30	11,31	0,187	0,225
			47	3374	0,35	13,06	0,237	0,237
			49	3362	0,34	12,72	0,187	0,287
		Promedio	47,33	3342,67	0,33	12,36	0,204	0,250
		80-100	84	3618	0,27	10,24	0,275	0,212
			84	3612	0,26	9,88	0,212	0,275
			83	3609	0,23	8,79	0,212	0,212
			Promedio	83,67	3613	0,25	9,63	0,233

Bajo las condiciones de inyección dados, la prueba a baja temperatura se dio a un promedio de 47,33°C y el régimen del motor de 3342,67rpm, para la prueba a alta temperatura se tiene un promedio de 83,67°C y de igual manera la velocidad del motor únicamente alcanza las 3613rpm.

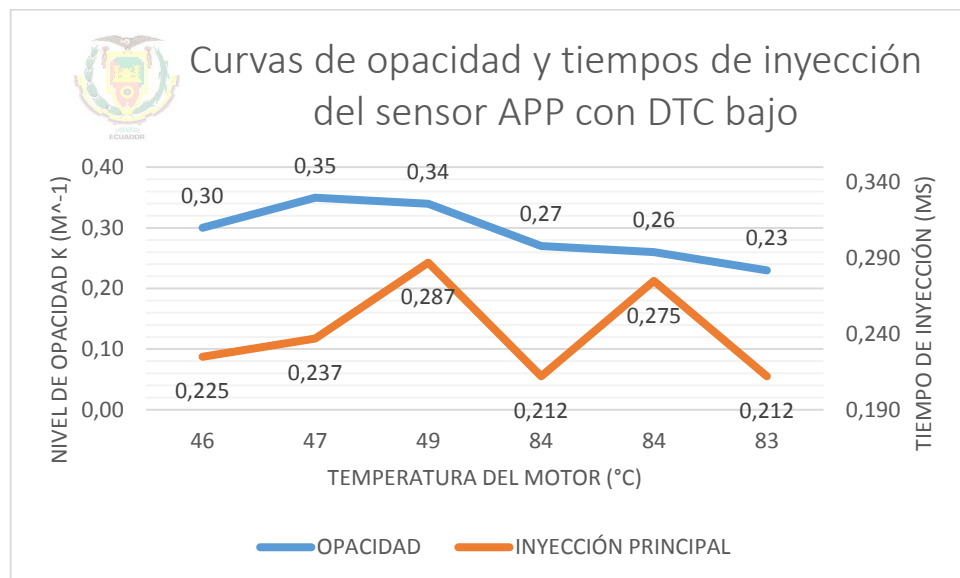


Figura 106 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor APP presenta DTC bajo, en frío y caliente

La opacidad presenta valores muy estables tanto para las mediciones en frío como en caliente, con el promedio de 12,36% (0,33m⁻¹) y 9,63% (0,25m⁻¹) respectivamente. Los tiempos de inyección oscilan entre 0,212ms y 0,287ms.

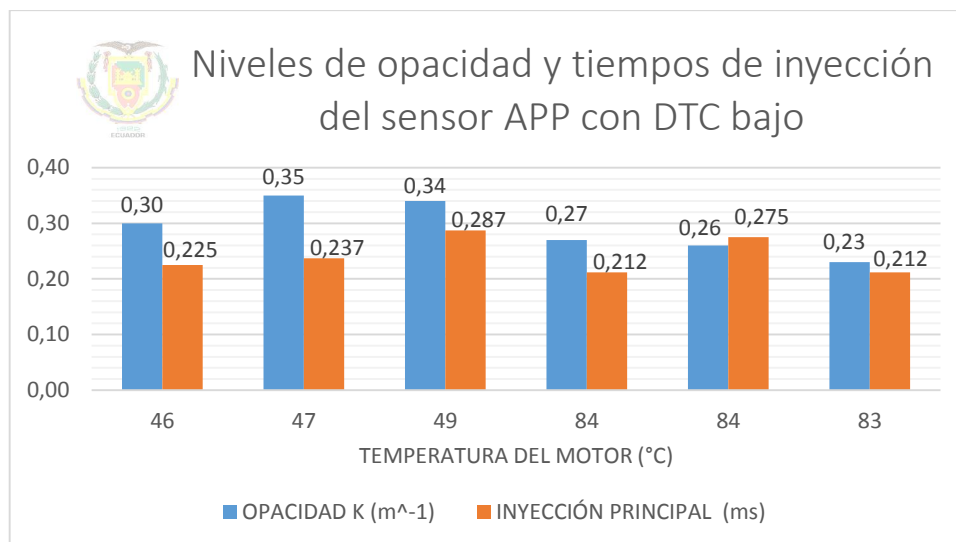


Figura 107 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor APP presenta DTC bajo, en frío y caliente

- **Resumen de los DTC del sensor APP**

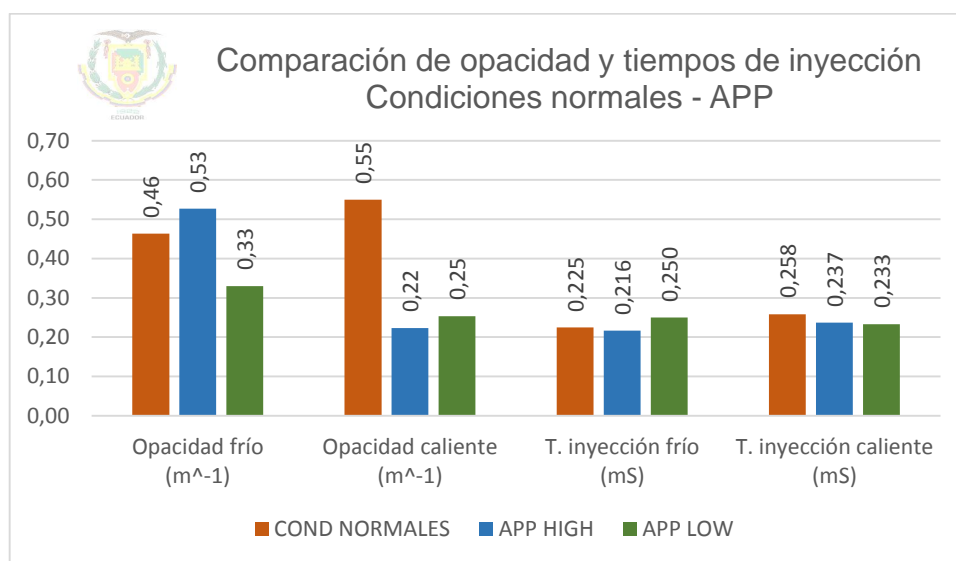


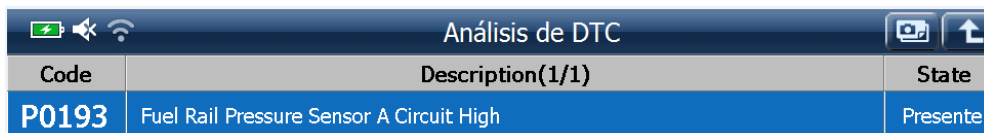
Figura 108 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor APP

El nivel de opacidad en las pruebas en caliente es significativamente más bajo que en condiciones normales, a comparación de las pruebas en frío donde únicamente con el DTC bajo se reduce la opacidad, con DTC alto esta aumenta. El tiempo de inyección para bajas temperaturas tiende a reducir ligeramente para el DTC alto y aumenta para el DTC bajo, en cambio a altas temperaturas disminuye en ambos casos.

4.4. Sensores de presión

4.4.1. Sensor de presión de combustible en el riel – FRP

- DTC alto (HIGH)



Code	Description(1/1)	State
P0193	Fuel Rail Pressure Sensor A Circuit High	Presente

Figura 109 Reconocimiento del DTC del FRP en código alto

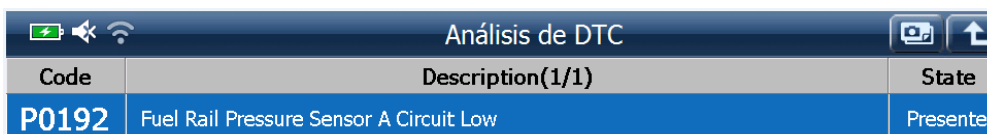
El scanner presenta el registro de parámetros donde la presión en el riel de combustible marca 180 MPa, valor extremadamente elevado provocado por el DTC.

Tabla 26
Datos obtenidos cuando el sensor FRP presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD	
					K (m ⁻¹)	N (%)
FRP	HIGH	35-55	49	166	-	-
		80-100	85	197	-	-

Con el DTC especificado, ya sea a baja (49°C) o alta (85°C) temperatura, la velocidad alcanzada por el motor fue de 166 rpm y 197 rpm respectivamente, velocidad generada por el movimiento del arranque sin presentar señal de inyección en ningún caso.

- DTC bajo (LOW)



Code	Description(1/1)	State
P0192	Fuel Rail Pressure Sensor A Circuit Low	Presente

Figura 110 Reconocimiento del DTC del FRP en código bajo

En los PIDs del scanner se presenta la presión del riel de 0MPa, dado que el caso presenta una falla en bajo del sensor FRP.

Tabla 27
Datos obtenidos cuando el sensor FRP presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD	
					K (m ⁻¹)	N (%)
FRP	LOW	35-55	48	170	-	-
		80-100	82	204	-	-

No hubo activación de los inyectores en ningún caso, baja temperatura (48°C) o alta temperatura (82°C), sus correspondientes velocidades del motor son de 170 y 204rpm, que fueron generadas por el arranque del motor.

4.4.2. Sensor de presión de aire de admisión – MAP

- DTC alto (HIGH)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0108	Manifold Absolute Pressure/BARO Sensor High	Presente

Figura 111 Reconocimiento del DTC del MAP en código alto

El PID del sensor establece un valor de 5V, valor máximo que recibe el sensor de alimentación.

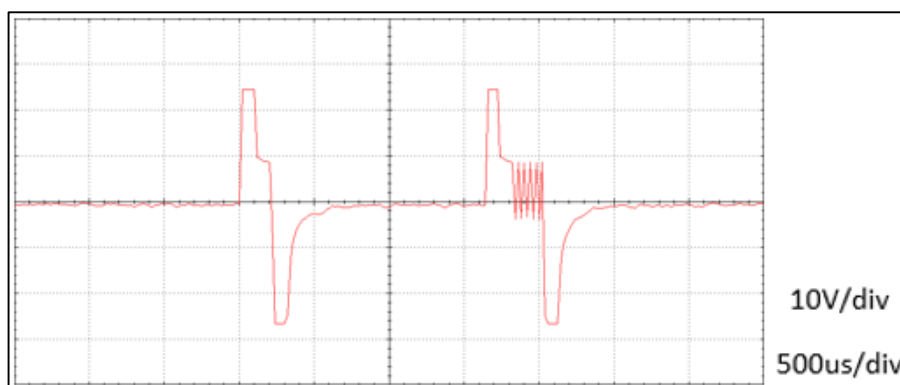


Figura 112 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC alto, con el motor en frío

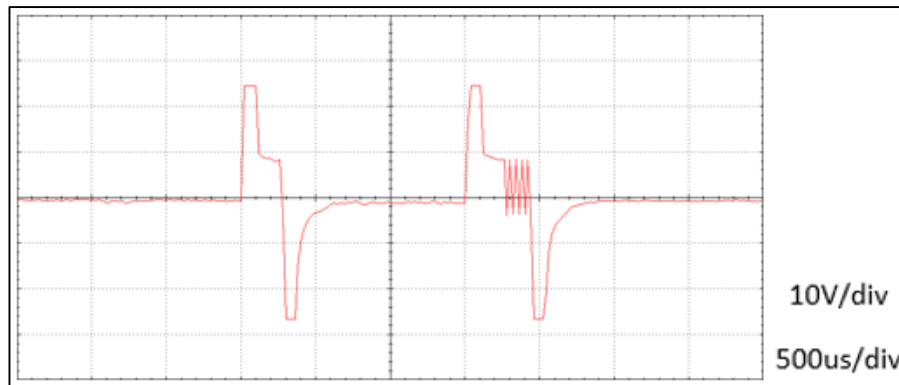


Figura 113 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC alto, con el motor en caliente

Las figuras muestran los oscilogramas de las inyecciones, presentando dos inyecciones tanto a bajas temperaturas con una duración promedio de $0,231\text{ms}$ para la pre-inyección y un valor de $0,219\text{ms}$ para la inyección principal, y a altas temperaturas se presenta de igual manera para la pre-inyección un valor de $0,267\text{ms}$ y el valor de $0,242\text{ms}$ como tiempo de inyección promedio para la inyección principal. Para ambos casos la preinyección y la inyección principal se producen con 25V .

Tabla 28
Datos obtenidos cuando el sensor MAP presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE- INYECCIÓN	INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m^{-1})	N (%)	TOTAL (ms)	TOTAL (ms)
MAP	HIGH	35-55	45	2280	0,89	29,95	0,225	0,200
			46	2287	0,93	31,06	0,237	0,200
			47	2296	1,02	33,50	0,212	0,225
			48	2280	1,16	37,12	0,250	0,250
		Promedio	46,5	2285,75	1,00	32,91	0,231	0,219
		80-100	82	2284	0,84	28,54	0,275	0,275
			82	2288	0,85	28,82	0,275	0,225
			83	2299	0,84	28,54	0,250	0,225
			Promedio	82,33	2290,33	0,84	28,63	0,267

Para los valores de tiempo de inyección tanto de pre-inyección como inyección principal se generaron las siguientes condiciones: a baja temperatura se tiene un promedio de $46,5^{\circ}\text{C}$, el régimen del motor se limita en las $2285,75\text{rpm}$ y nivel de opacidad de $32,91\%$ (1m^{-1}); a alta temperatura con un promedio de $82,33^{\circ}\text{C}$, la velocidad del motor llega hasta los $2290,33\text{rpm}$ y genera una opacidad del $28,63\%$ ($0,84\text{m}^{-1}$).

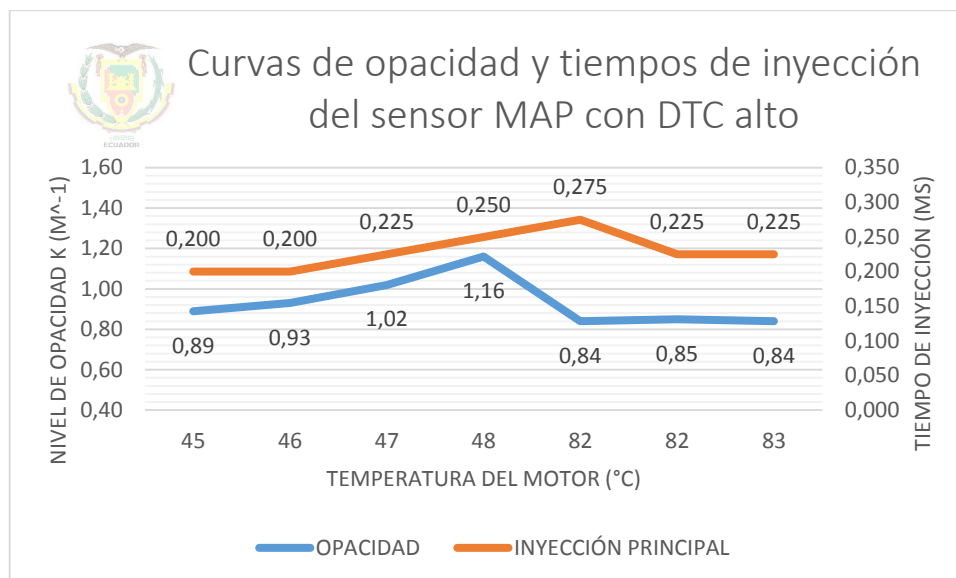


Figura 114 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAP presenta DTC alto, en frío y caliente

Para el caso del DTC alto en este sensor la curva de opacidad tiene un comportamiento creciente en las mediciones a baja temperatura, en las pruebas a alta temperatura se estabiliza en $0,84\text{m}^{-1}$ (28,54%). De igual manera los tiempos de la inyección principal crecen en el transcurso de las pruebas en frío, llegando a estabilizarse en $0,225\text{ms}$ en las pruebas en caliente.

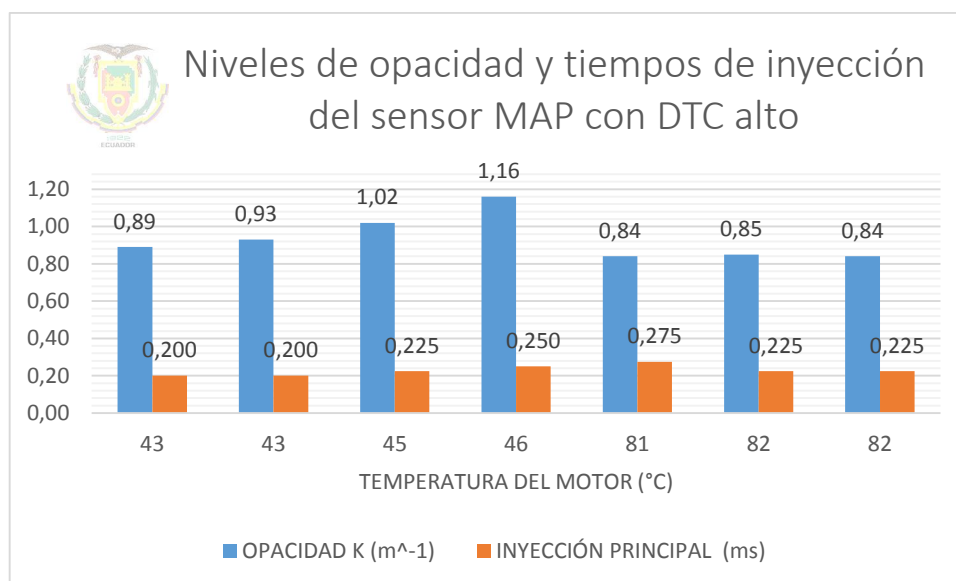


Figura 115 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAP presenta DTC alto, en frío y caliente

- **DTC bajo (LOW)**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0106	Manifold Absolute Pressure/BARO Sensor Range/Performance	Presente
P2227	Barometric Pressure Sensor A Circuit Range/Performance	Presente

Figura 116 Reconocimiento del DTC del MAP en código bajo

Dado que se trata de un DTC bajo en el sensor, el PID del scanner muestra 0V en la medida de la presión del aire de admisión.

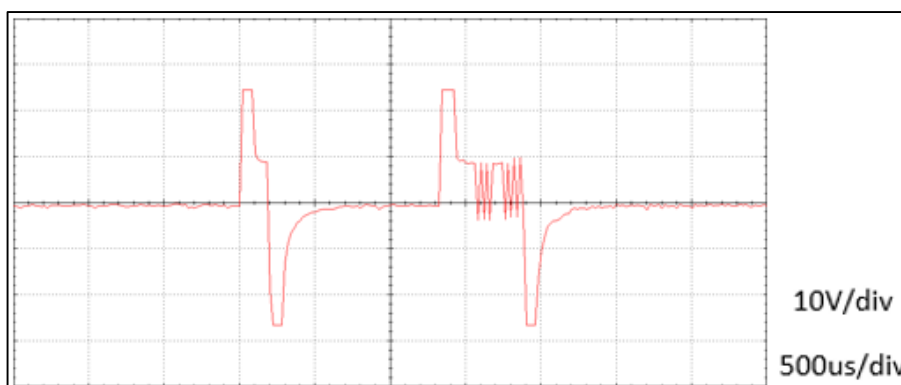


Figura 117 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, con el motor en frío

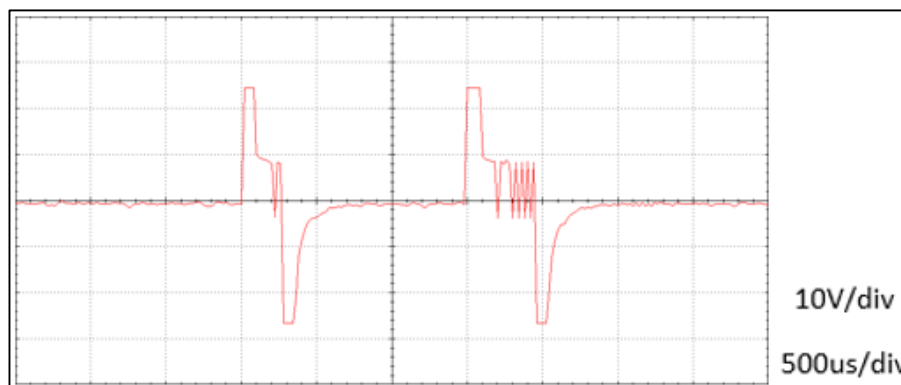


Figura 118 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, con el motor en caliente

Cuando se presenta un DTC bajo se dan pre-inyecciones e inyecciones principales, en el caso de las pruebas en frío los tiempos de inyección son de $0,209mS$ y de $0,253mS$ respectivamente. Para las pruebas en caliente la pre-inyección tuvo una duración de $0,225mS$ y la inyección principal de $0,242mS$.

El voltaje de activación de los inyectores para producir tanto la pre-inyección como la inyección principal fue de 25V, ya sean en pruebas a baja temperatura como a alta temperatura.

Tabla 29
Datos obtenidos cuando el sensor MAP presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE-INYECCIÓN	INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)	TOTAL (ms)
MAP	LOW	35-55	43	2282	0,98	32,43	0,224	0,249
			43	2294	0,92	30,79	0,187	0,250
			45	2290	0,95	31,61	0,200	0,262
			46	2287	0,96	31,89	0,225	0,250
		Promedio	44,25	2288,25	0,95	31,68	0,209	0,253
		80-100	81	2295	0,66	23,20	0,225	0,275
			82	2293	0,76	26,21	0,225	0,225
			82	2294	0,76	26,21	0,225	0,225
			Promedio	81,67	2294	0,73	25,21	0,225

Con los valores anteriormente indicados de inyección, en la tabla 29 se muestran las siguientes condiciones de funcionamiento: en frío la temperatura promedio fue de 44,25°C, el motor alcanzó una velocidad de 2288,25rpm, produciendo 31,68% (0,95m⁻¹) de opacidad, en las pruebas en caliente la temperatura promedio es de 81,67°C, el régimen del motor de 2294rpm y el nivel de opacidad es del 25,21% (0,73m⁻¹).

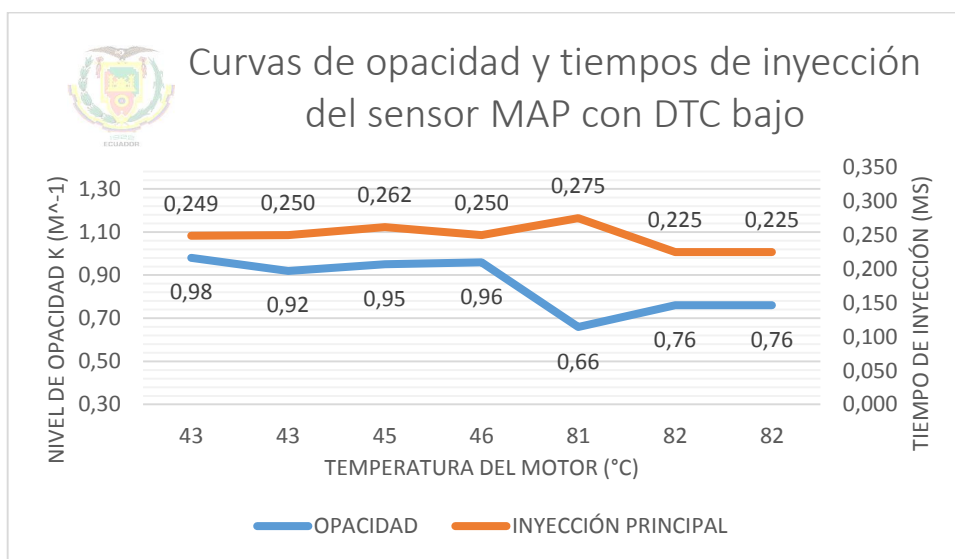


Figura 119 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, en frío y caliente

En las cuatro primeras pruebas las curvas de ambas variables no tienen una variación representativa. En la quinta prueba dada a 81°C se observa el mínimo valor de opacidad que es $0,66\text{m}^{-1}$, y el mayor tiempo de inyección con $0,275\text{ms}$. Además la figura indica que las dos pruebas finales se dan a 82°C y presentan valores iguales de opacidad y tiempo de inyección, estableciéndose estos en $0,76\text{m}^{-1}$ y $0,225\text{ms}$.

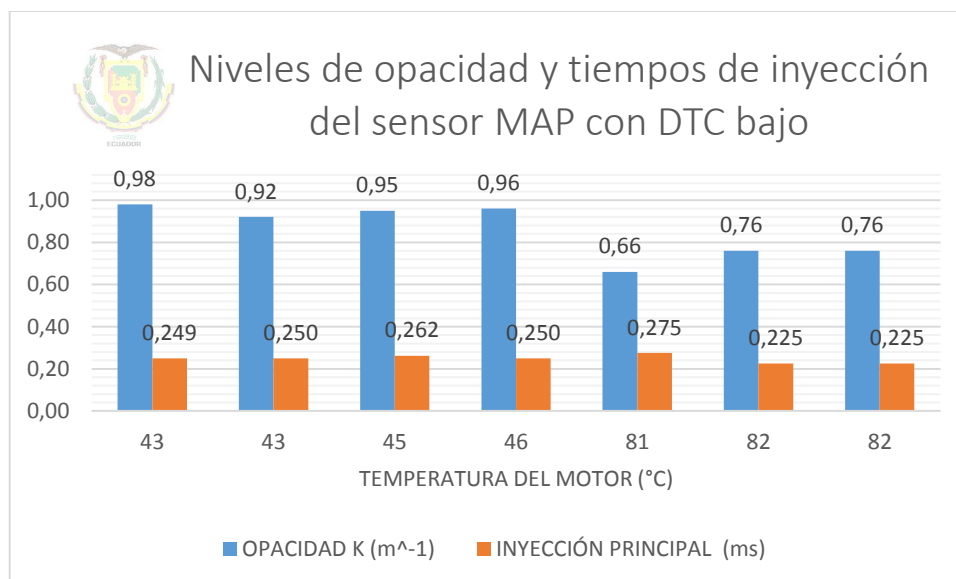


Figura 120 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAP presenta DTC bajo, en frío y caliente

- **Resumen de los DTC del sensor MAP**

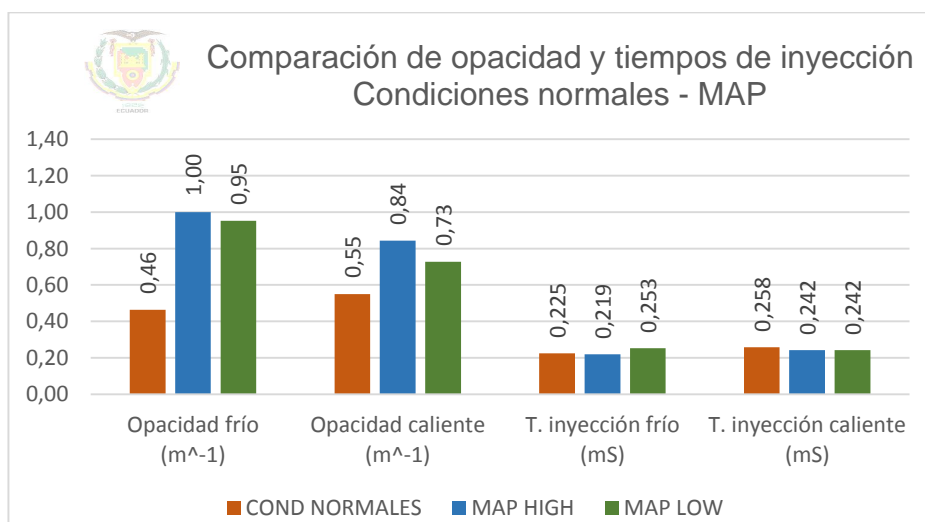


Figura 121 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor MAP

Al darse un DTC alto en el sensor MAP la opacidad tanto en frío como en caliente se eleva en comparación a los valores obtenidos en condiciones normales, alcanzando $1,00$ y $0,84\text{m}^{-1}$ respectivamente. Por otro lado el tiempo de inyección en frío se reduce a $0,219\text{mS}$ y en caliente a $0,242\text{mS}$.

Cuando se genera un DTC bajo la opacidad en frío es de $0,95\text{m}^{-1}$ superando el $0,46\text{m}^{-1}$ de condiciones normales; en caliente se incrementa de $0,55\text{m}^{-1}$ (condiciones normales) a $0,73\text{m}^{-1}$. El tiempo de inyección en frío se incrementa de $0,225\text{mS}$ a $0,253\text{mS}$; y en caliente se reduce de $0,258\text{mS}$ a $0,242\text{mS}$.

4.5. Sensores de flujo

4.5.1. Sensor de flujo de aire de admisión – MAF

- DTC alto (HIGH)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0103	Mass or Volume Air Flow A Circuit High	Presente

Figura 122 Reconocimiento del DTC del MAF en código alto

Al presentarse este DTC, la ECU recibe todo el tiempo la señal máxima de voltaje (5V) que genera el sensor de flujo de aire de admisión MAF.

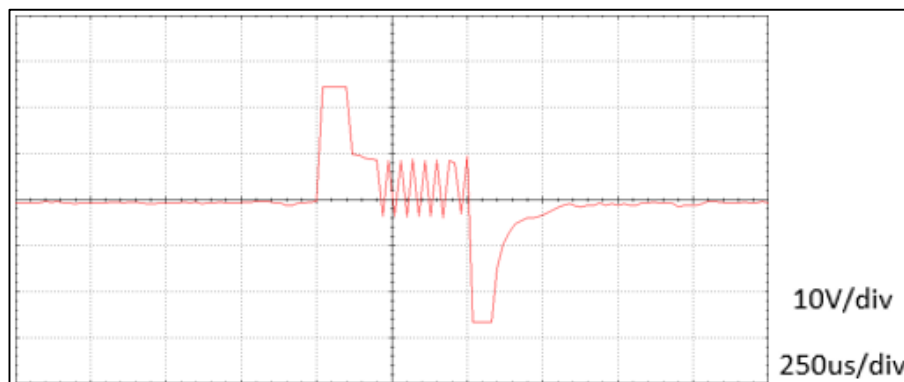


Figura 123 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC alto, con el motor en frío

En la figura 123 se visualiza que el tiempo de inyección al realizarse la prueba con el motor en frío se incrementa en 1,78% (0,229ms) al compararse con el valor obtenido en condiciones normales de funcionamiento.

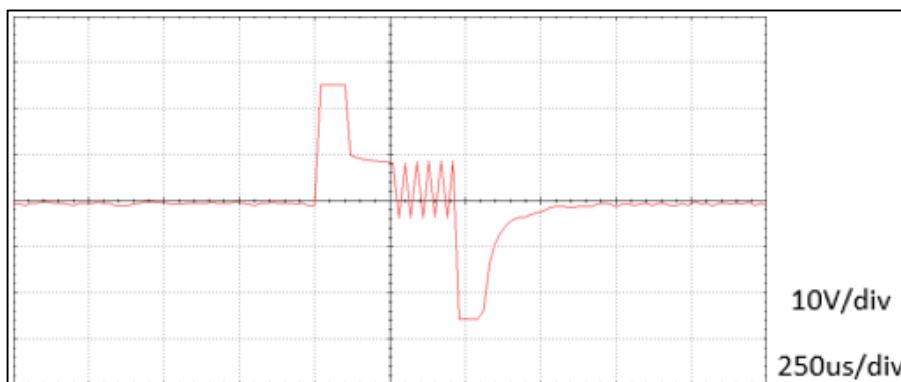


Figura 124 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC alto, con el motor en caliente

Con el motor funcionando a alta temperatura se da una reducción de 1,81% (0,254ms) en el tiempo de inyección de combustible.

Tabla 30
Datos obtenidos cuando el sensor MAF presenta DTC alto

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
MAF	HIGH	35-55	46	4669	0,46	16,81	0,212
			48	4714	0,36	13,41	0,212
			50	4745	0,39	14,44	0,262
		Promedio	48	4709,33	0,40	14,89	0,229
		80-100	84	4828	0,32	12,01	0,274
			84	4877	0,40	14,79	0,262
			84	4881	0,42	15,46	0,225
		Promedio	84	4862	0,38	14,09	0,254

El tiempo de inyección en frío detallado anteriormente se presenta a una temperatura específica de 48°C y a un régimen del motor de 4709,33rpm; condición en la que se genera 14,89% (0,40m⁻¹) de opacidad. Por otro lado, la inyección de 0,254ms se da a 84°C y 4862rpm, con un nivel de opacidad de 14,09% (0,38m⁻¹).

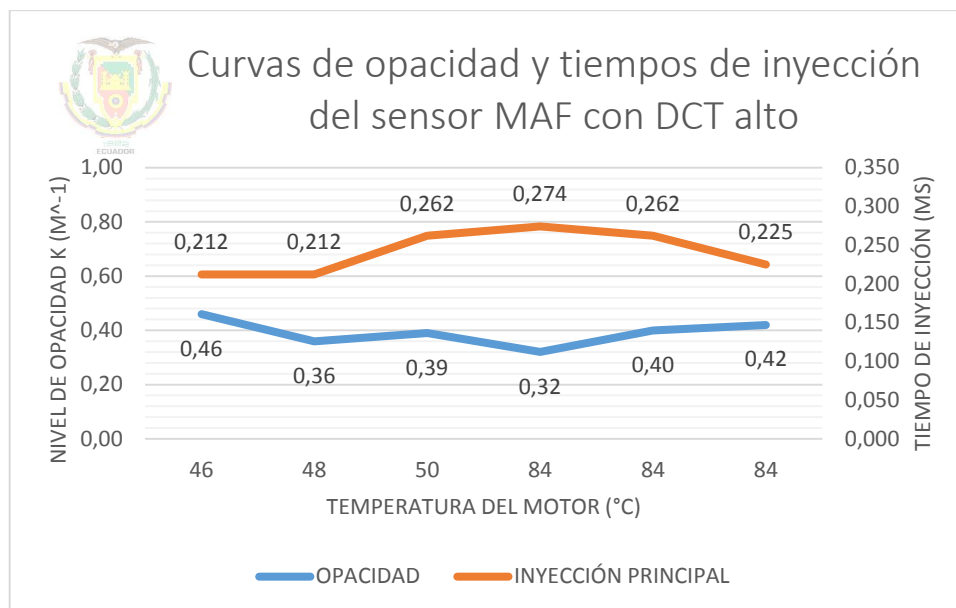


Figura 125 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAF presenta DTC alto, en frío y caliente

La menor duración del tiempo de inyección de combustible es de $0,212\text{ms}$ y se da a 46 y 48°C , generando niveles de opacidad de $0,46$ y $0,36\text{m}^{-1}$ respectivamente. El menor valor de opacidad se presenta en una de las pruebas de 84°C , y con el mayor tiempo de inyección $0,274\text{ms}$.

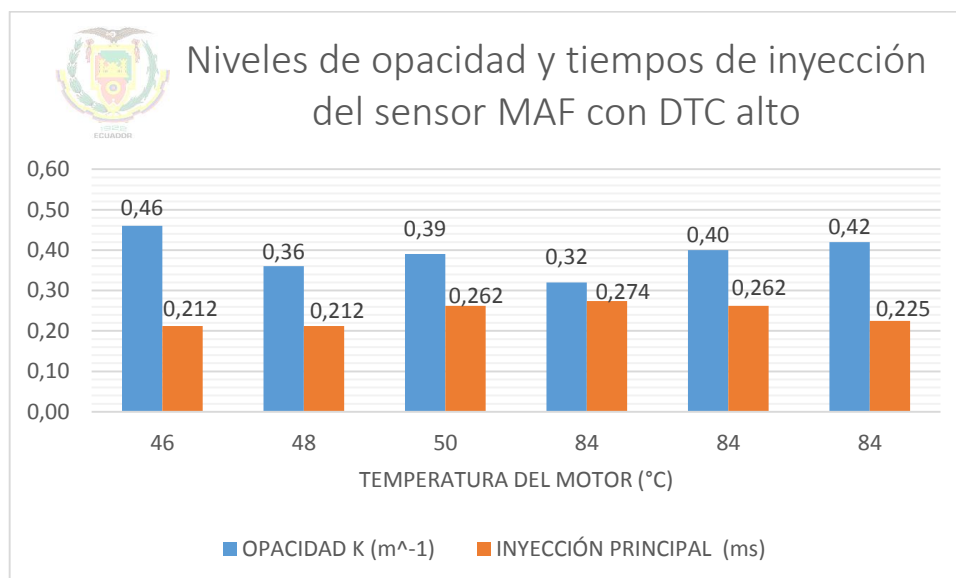


Figura 126 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAF presenta DTC alto, en frío y caliente

- DTC bajo (LOW)

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0102	Mass or Volume Air Flow A Circuit Low	Presente

Figura 127 Reconocimiento del DTC del MAF en código bajo

El DTC bajo de este sensor representa una desconexión del mismo, por lo que el computador recibe una señal de 0V.

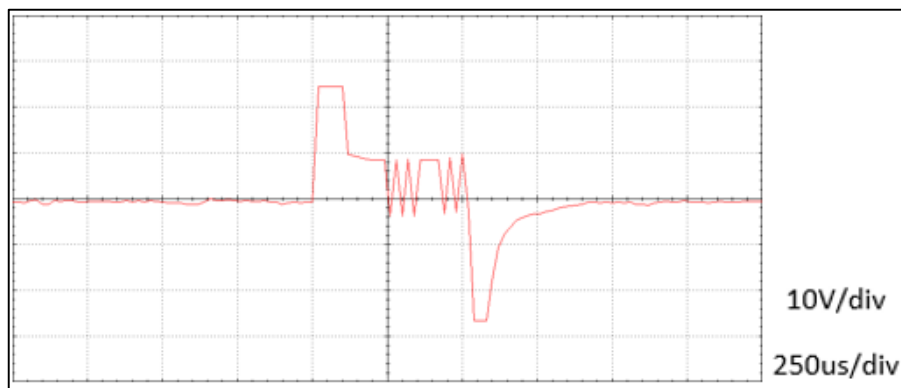


Figura 128 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, con el motor en frío

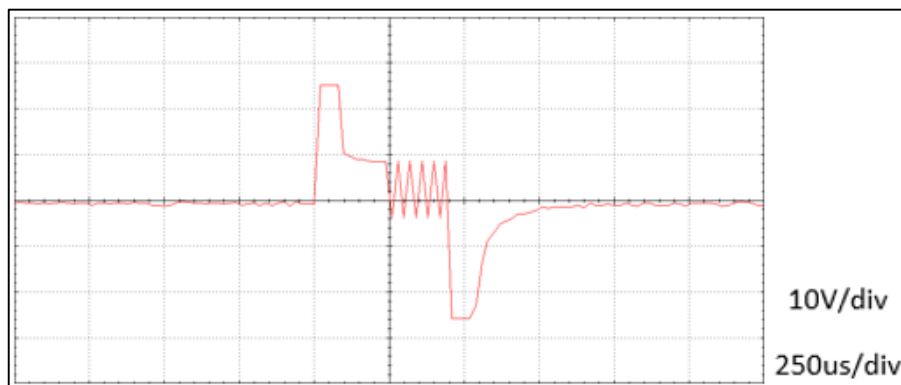


Figura 129 Oscilograma de inyección cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, con el motor en caliente

Al presentarse este DTC con el motor funcionando a bajas temperaturas el tiempo de inyección aumenta en 27,89% (0,287mS), mientras que si se da en altas temperaturas el tiempo disminuye 3,23% (0,250mS). En las dos condiciones de temperatura el inyector se activa con 25V.

Tabla 31
Datos obtenidos cuando el sensor MAF presenta DTC bajo

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
					K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
MAF	LOW	35-55	45	4687	0,38	14,10	0,250
			46	4709	0,42	15,46	0,262
			49	4737	0,44	16,14	0,350
		Promedio	46,67	4711	0,41	15,23	0,287
		80-100	85	4856	0,35	13,06	0,250
			84	4878	0,39	14,44	0,250
			86	4860	0,44	16,14	0,250
			Promedio	85	4864,67	0,39	14,55

La tabla 31 indica que para el valor promedio del tiempo de inyección en frío se genera 15,23% (0,41m⁻¹) de opacidad, a 46,67°C y un régimen del motor de 4711rpm. Con el motor en caliente (85°C) el motor gira a 4864,67rpm, produciendo 14,55% (0,39m⁻¹) de opacidad.

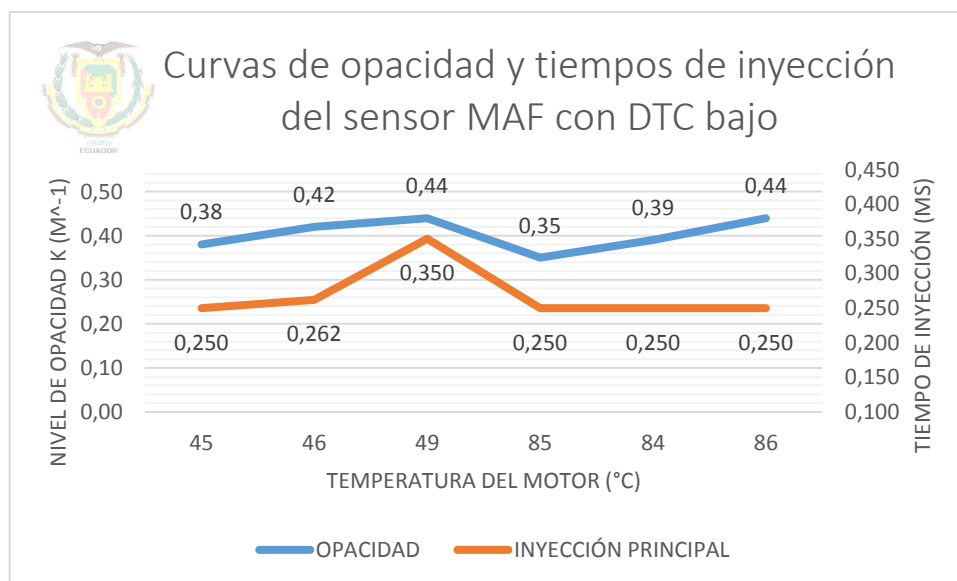


Figura 130 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, en frío y caliente

El tiempo de inyección se estabiliza en 0,250ms a partir de los 85°C, desde aquí la temperatura y el nivel de opacidad se incrementan constantemente. El valor más elevado de opacidad es 0,44m⁻¹ y se produce a los 49 y 86°C.

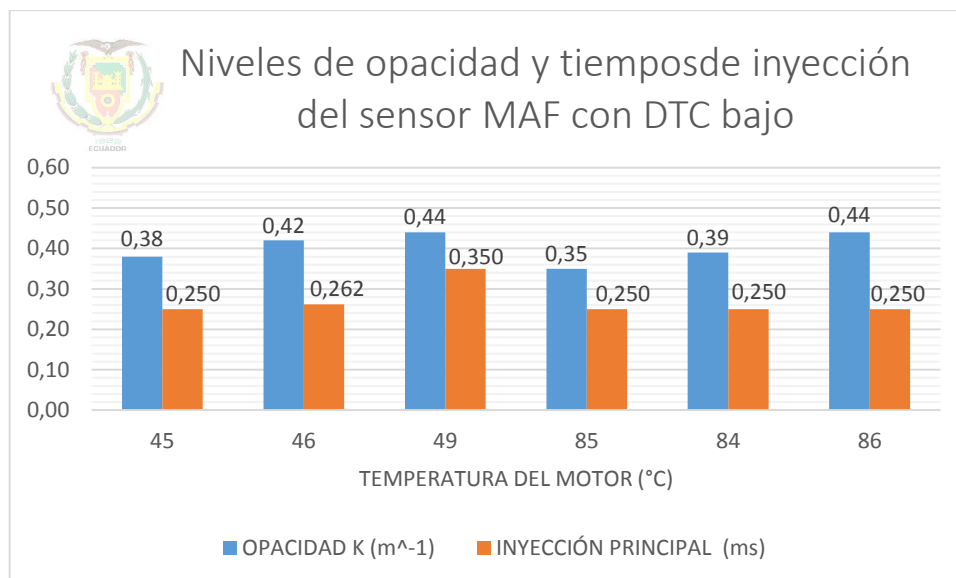


Figura 131 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el motor cuando el sensor MAF presenta DTC bajo, en frío y caliente

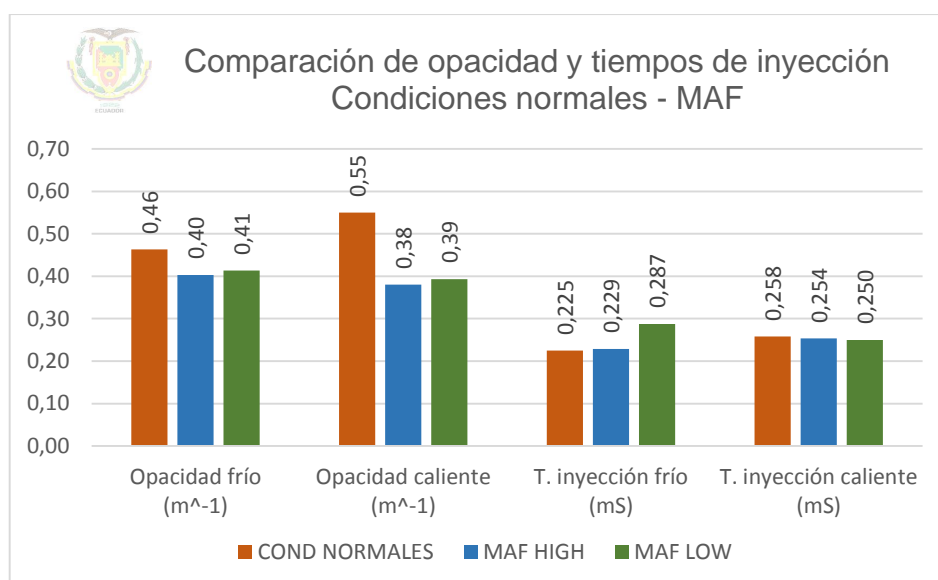


Figura 132 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y fallas del sensor MAF

Con ambas fallas del sensor MAF los niveles de opacidad se reducen tanto en frío como en caliente, en comparación con lo obtenido en condiciones normales; pero es más notable la reducción al presentarse el DTC alto.

Los tiempos de inyección en frío tienden a crecer en cualquiera de las fallas, con más impacto en el DTC bajo; mientras que en caliente se da una disminución para los dos casos, siendo tan mínima que en la figura 132 es casi imperceptible.

4.6. Actuadores

4.6.1. Inyectores

- Inyector 1

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0201	Cylinder 1 Injector Circuit / Open	Presente
P0301	Cylinder 1 Misfire Detected	Presente

Figura 133 Reconocimiento de la falla del inyector 1

La figura 133 muestra la desconexión del inyector 1, DTC que se confirma al presentarse un error en el sensor de golpeteo.

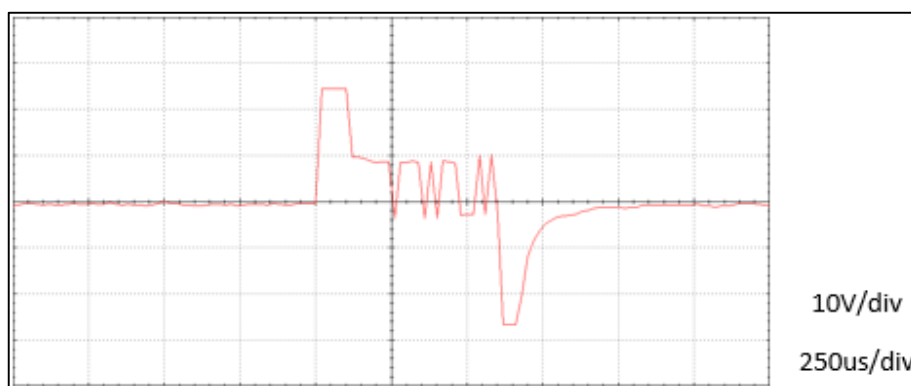


Figura 134 Oscilograma de inyección con el inyector 1 desconectado, con el motor en frío

El oscilograma de la figura 134 indica que el inyector se activa con 25V, y el tiempo de inyección incrementa 16,62% (0,262mS).

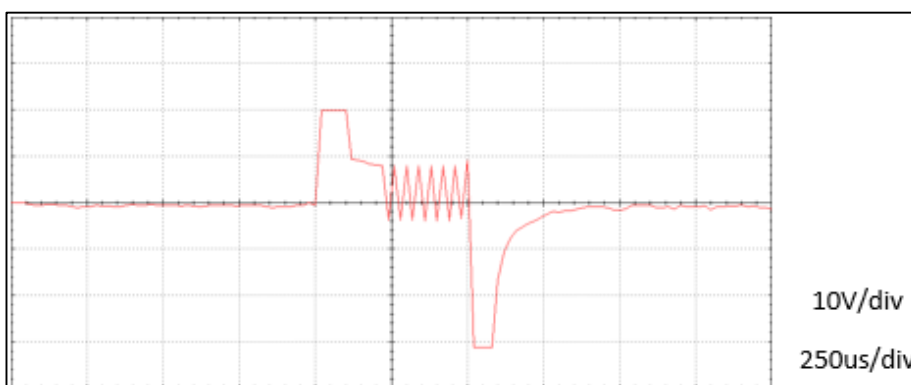


Figura 135 Oscilograma de inyección con el inyector 1 desconectado, con el motor en caliente

El inyector analizado se activa con 20V y el tiempo de inyección en la figura 135 disminuye 3,35% (0,250ms) cuando el motor funciona en caliente y se da una falla en el inyector 1.

Tabla 32
Datos obtenidos con el inyector 1 desconectado

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
INYECTOR 1	35-55	45	4264	0,97	32,16	0,212
		47	4428	0,68	23,81	0,262
		49	4458	0,69	24,12	0,312
	Promedio	47	4383,33	0,78	26,70	0,262
	80-100	87	4484	0,53	19,10	0,275
		87	4616	0,50	18,13	0,237
		86	4678	0,65	22,89	0,237
		Promedio	86,67	4592,67	0,56	20,04

La temperatura promedio para las pruebas en frío es 47°C, aquí el régimen de giro del motor es 4383,33rpm y se genera 26,70% (0,78m⁻¹) de opacidad. A 86,67°C el motor gira a 4592,67rpm con un 20,04% (0,56m⁻¹) de opacidad de gases de escape.

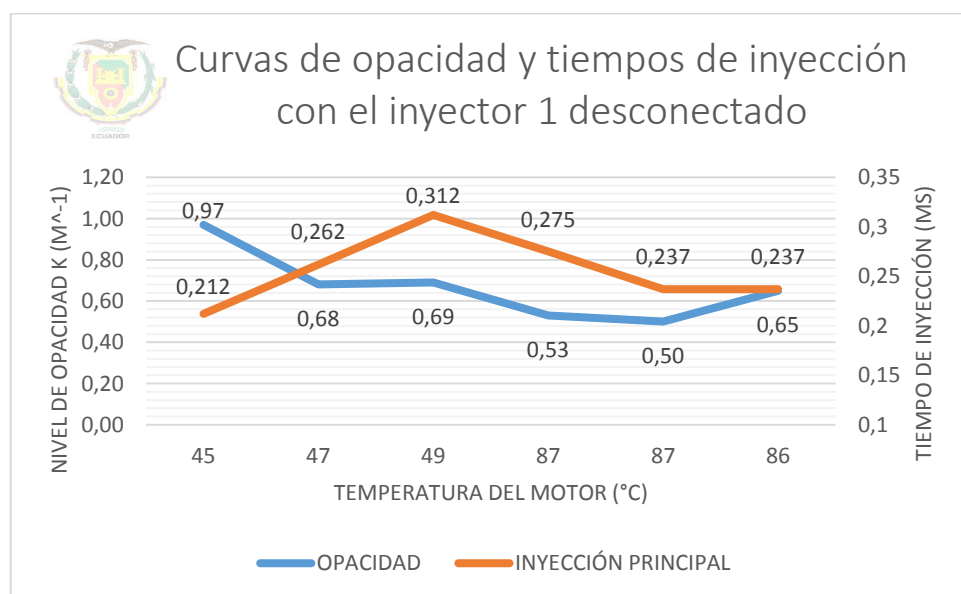


Figura 136 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 1 desconectado, en frío y caliente

A medida que se eleva la temperatura, la opacidad disminuye en casi todas las pruebas. Cuando el motor funciona a 45°C se da el menor tiempo de inyección y a la vez el mayor nivel de opacidad; en 49°C la duración de la inyección es la mayor con 0,312mS, y a partir de los 87°C se fija en un 0,237mS.

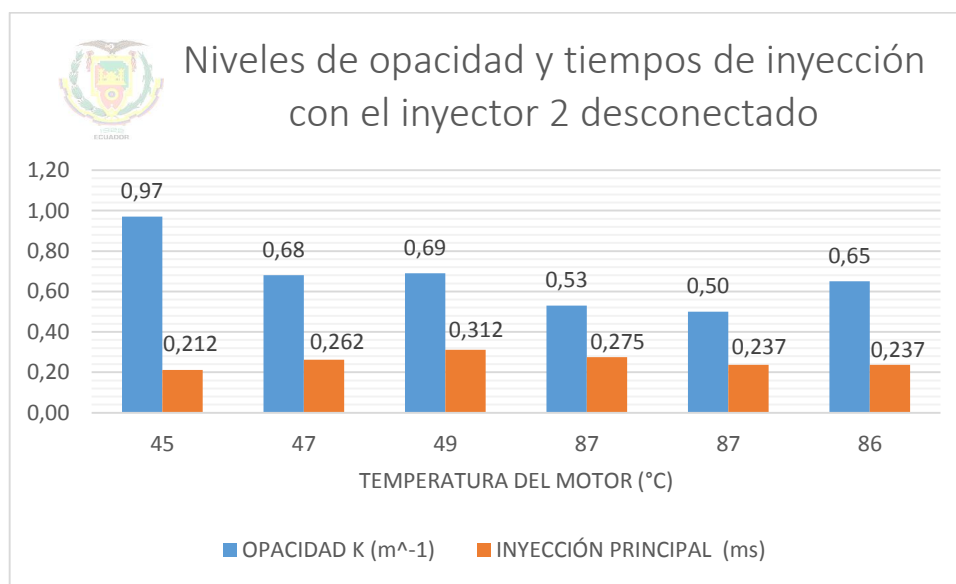


Figura 137 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 1 desconectado, en frío y caliente

- **Inyector 2**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0202	Cylinder 2 Injector Circuit / Open	Presente
P0302	Cylinder 2 Misfire Detected	Presente

Figura 138 Reconocimiento de la falla del inyector 2

Al desconectar el inyector 2 el scanner detecta dos DTCs debido a que el sensor de golpeteo también detecta este error y especifica el cilindro en el que se produce.

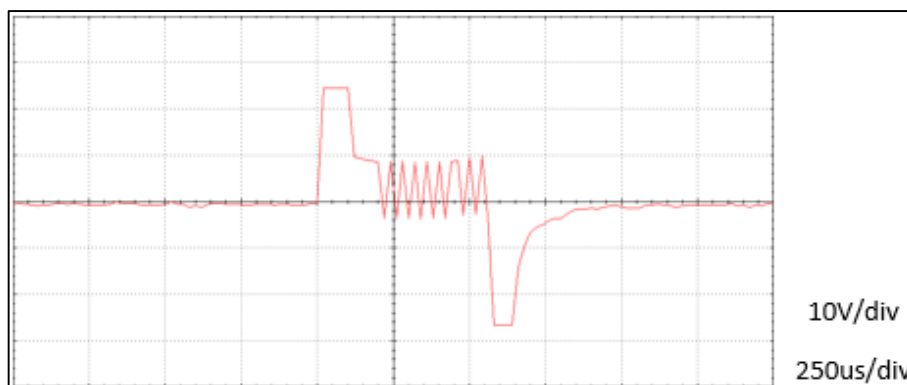


Figura 139 Oscilograma de inyección con el inyector 2 desconectado, con el motor en frío

El inyector se activa con 25V y la duración de la inyección de combustible se incrementa 1,78% (0,229ms) para la prueba en frío.

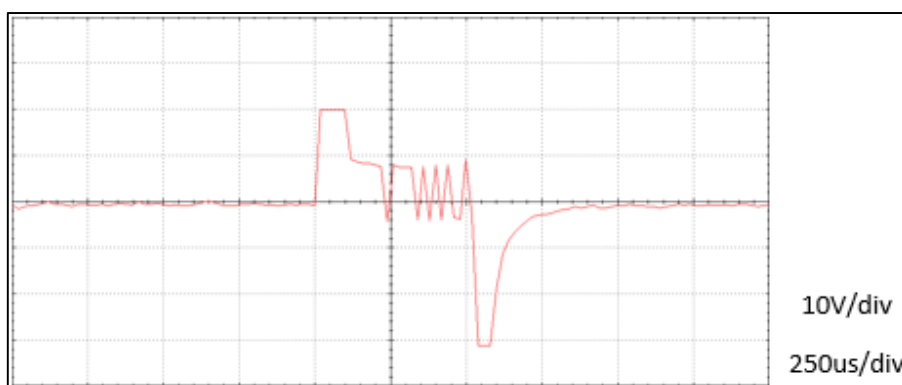


Figura 140 Oscilograma de inyección con el inyector 2 desconectado, con el motor en caliente

En la figura 140 se observa que con el motor caliente el inyector se activa con 20V y el tiempo de inyección se reduce 5,03% (0,245ms).

Tabla 33
Datos obtenidos con el inyector 2 desconectado

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL	
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)	
INYECTOR 2	35-55	49	4348	0,64	22,59	0,212	
		51	4486	0,66	23,20	0,262	
		53	4510	0,67	23,51	0,212	
		Promedio	51	4448	0,66	23,10	0,229
	80-100	87	4583	0,50	18,13	0,237	
		86	4613	0,48	17,47	0,237	
		86	4648	0,52	18,78	0,262	
		Promedio	86,33	4614,67	0,50	18,13	0,245

En la tabla 33 se detalla que para el tiempo de inyección promedio detallado anteriormente para el motor en frío se da a 51°C con un régimen de giro de 4448rpm, y produce 23,10% ($0,66\text{m}^{-1}$) de opacidad. Los valores considerados para la prueba en caliente se presentan a una temperatura promedio de 86,33°C con una velocidad de giro del motor de 4614,67rpm, y generando 18,13% ($0,50\text{m}^{-1}$) de opacidad de gases de escape.

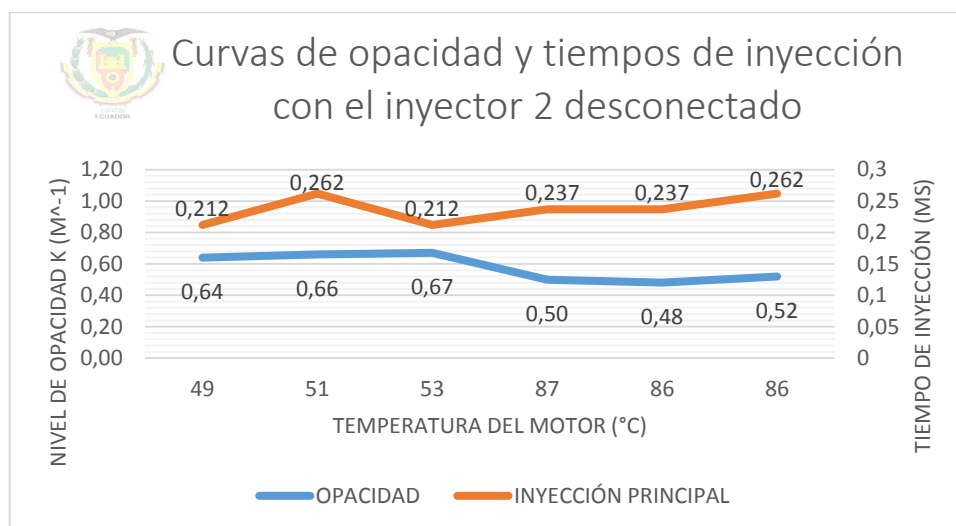


Figura 141 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 1 desconectado, en frío y caliente

En el rango de 49 a 53°C los niveles de opacidad crecen ligeramente de 0,64 a $0,67\text{m}^{-1}$, y empiezan a disminuir a partir de los 87°C. La menor duración de la inyección de combustible es $0,212\text{ms}$ y se da a 49 y 53°C, mientras que el mayor tiempo es $0,262\text{ms}$ en las temperaturas de 51 y 86°C.

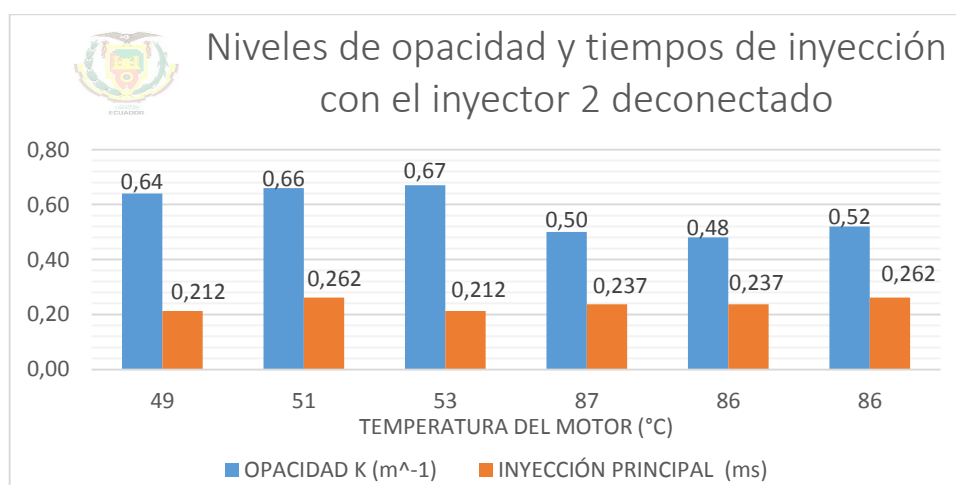


Figura 142 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 2 desconectado, en frío y caliente

- **Inyector 3**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0203	Cylinder 3 Injector Circuit / Open	Presente
P0303	Cylinder 3 Misfire Detected	Presente

Figura 143 Reconocimiento de la falla del inyector 3

El scanner detecta dos DTCs, ya que las vibraciones originadas por la falla del inyector 3 hacen que el sensor de golpeteo detecte también un error y lo registre en el computador.

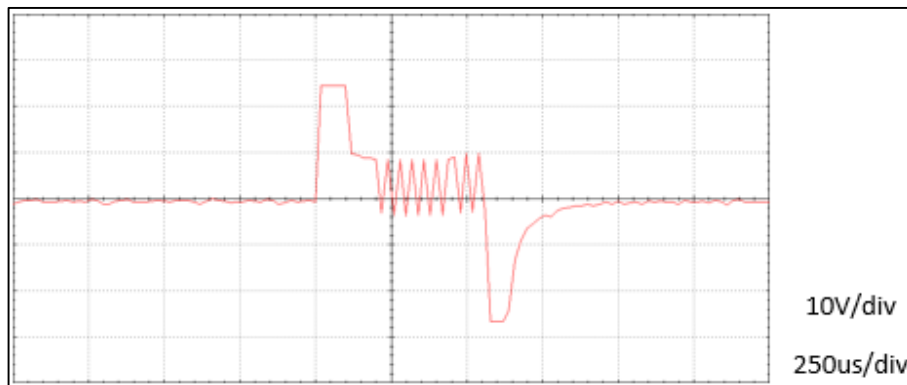


Figura 144 Oscilograma de inyección con el inyector 3 desconectado, con el motor en frío

Cuando el motor trabaja en frío con esta falla, el inyector se activa con 25V, y el tiempo de inyección se incrementa 1,78% (0,229mS)

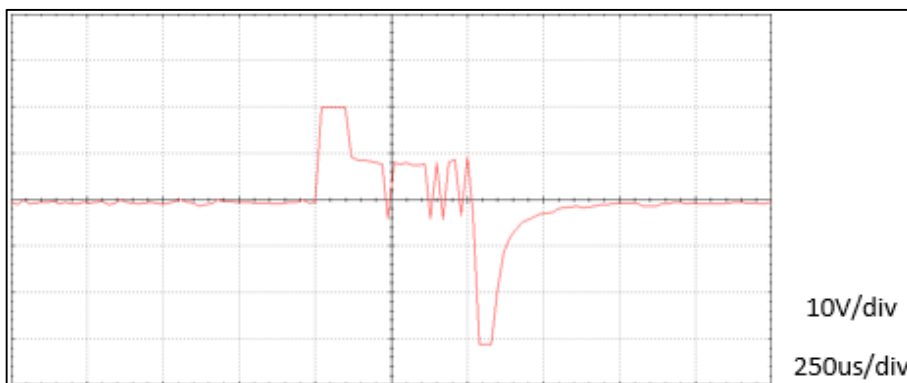


Figura 145 Oscilograma de inyección con el inyector 3 desconectado, con el motor en caliente

El inyector se activa con 20V cuando se realiza la prueba en caliente, y el tiempo de inyección incrementa 9,42% (0,283ms).

Tabla 34
Datos obtenidos con el inyector 3 desconectado

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
INYECTOR 3	35-55	46	4424	0,40	14,79	0,212
		48	4439	0,55	19,75	0,212
		51	4482	0,58	20,71	0,262
	Promedio	48,33	4448,33	0,51	18,41	0,229
	80-100	87	4647	0,46	16,81	0,249
		85	4688	0,48	17,47	0,312
		85	4669	0,48	17,47	0,287
		Promedio	85,67	4668	0,47	17,25

La duración de la inyección de combustible especificada para la prueba en frío se da a 48,33°C con una velocidad de giro del motor de 4448,33rpm produciendo así 18,41% (0,51m⁻¹) de opacidad; por otro lado la medida a 85,67°C y 4668rpm es de 17,25% (0,47m⁻¹).

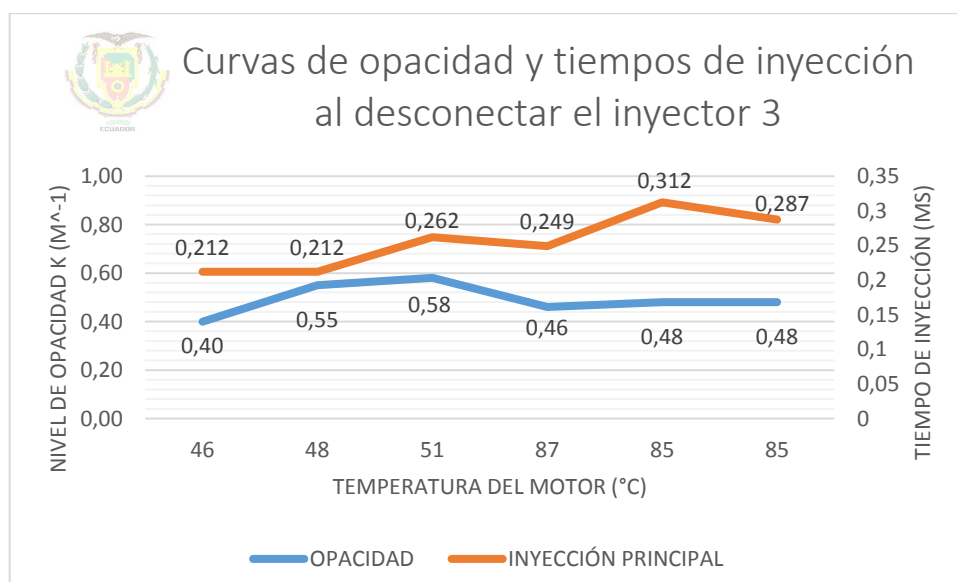


Figura 146 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 3 desconectado, en frío y caliente

Los niveles de opacidad son propensos a elevarse a medida que la temperatura aumenta para cada uno de los rangos; así en las temperaturas bajas va de 0,40 a 0,58 m^{-1} , y en altas crece ligeramente de 0,46 a 0,48 m^{-1} . El comportamiento de los tiempos de inyección es muy variado presentando una estabilidad inicial de 0,212 mS a 46 y 48°C para después alcanzar su valor máximo en los 85°C con 0,312 mS .

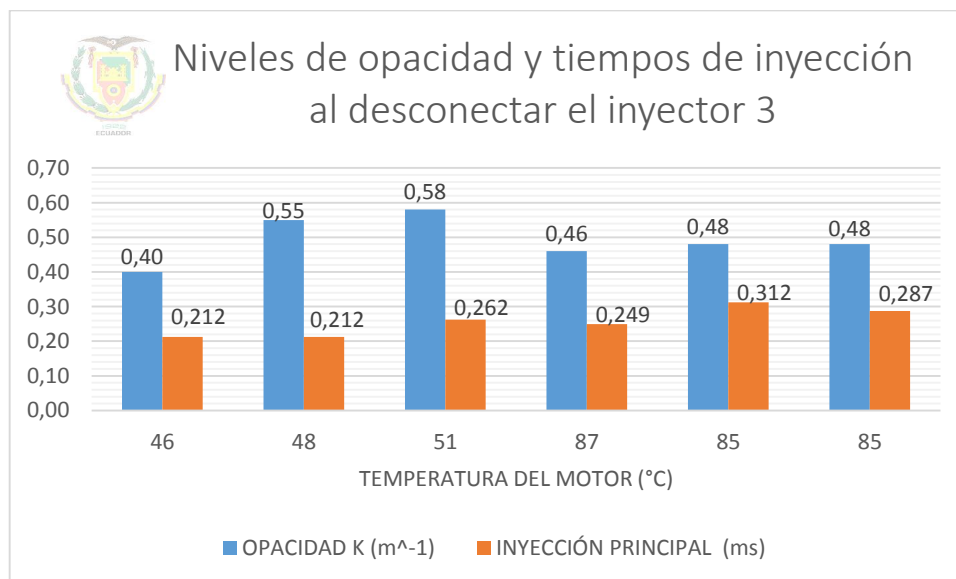


Figura 147 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 3 desconectado, en frío y caliente

- **Inyector 4**

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0204	Cylinder 4 Injector Circuit / Open	Presente
P0304	Cylinder 4 Misfire Detected	Presente

Figura 148 Reconocimiento de la falla del inyector 4

La desconexión del inyector 4 genera un DTC adicional en el sensor de golpeteo que indica una mayor vibración en el motor.

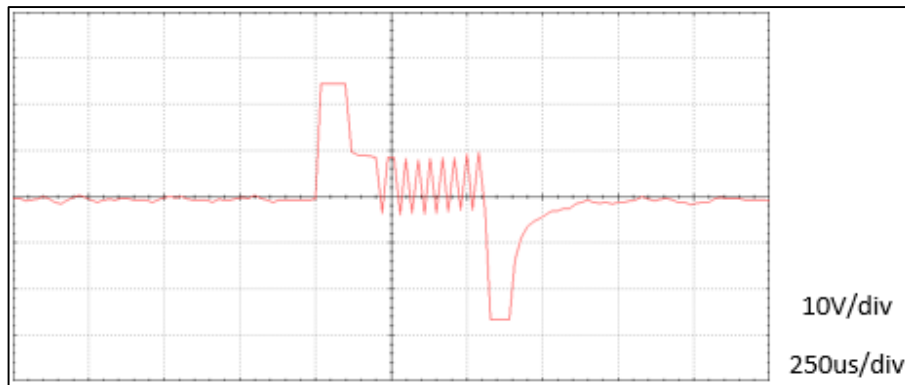


Figura 149 Oscilograma de inyección con el inyector 4 desconectado, con el motor en frío

Al hacer funcionar el motor a baja temperatura y con el DTC especificado, el inyector se activa con 25 V y el tiempo de inyección se reduce 3,71% (0,216mS).

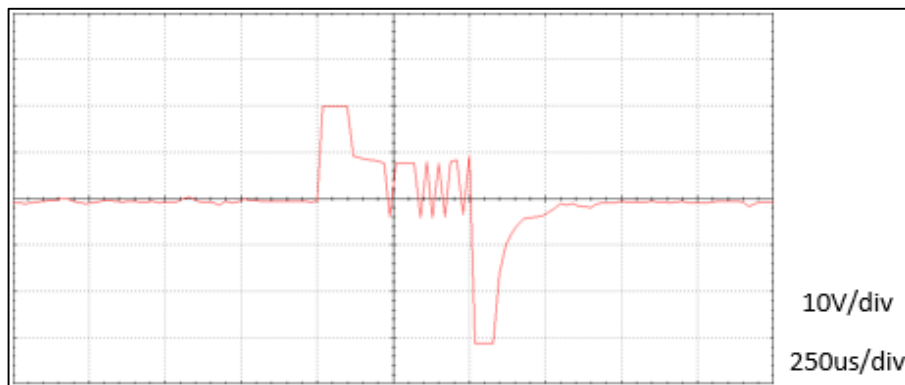


Figura 150 Oscilograma de inyección con el inyector 4 desconectado, con el motor en caliente

La figura indica que al darse la falla y con el motor funcionando en caliente el inyector se activa con 20V y disminuye el tiempo de inyección 8,26% (0,237mS) en comparación a lo establecido en condiciones normales.

Tabla 35
Datos obtenidos con el inyector 4 desconectado

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
INYECTOR 4	35-55	49	4458	0,53	19,10	0,212
		51	4508	0,63	22,28	0,212
		53	4509	0,59	21,02	0,225
	Promedio	51	4491,67	0,58	20,80	0,216
	80-100	87	4650	0,58	20,71	0,237
		85	4682	0,57	20,39	0,237
		86	4648	0,62	21,96	0,237
		Promedio	86	4660	0,59	21,02

Cuando el motor alcanza los 51°C (baja temperatura) se da la duración de inyección establecida en el análisis previo, con un régimen de giro del motor de 4491,67rpm lo que genera 20,80% (0,58m⁻¹) de opacidad. En 86°C y a 4660rpm la inyección dura 0,237mS y produce una opacidad de 21,02% (0,59m⁻¹).

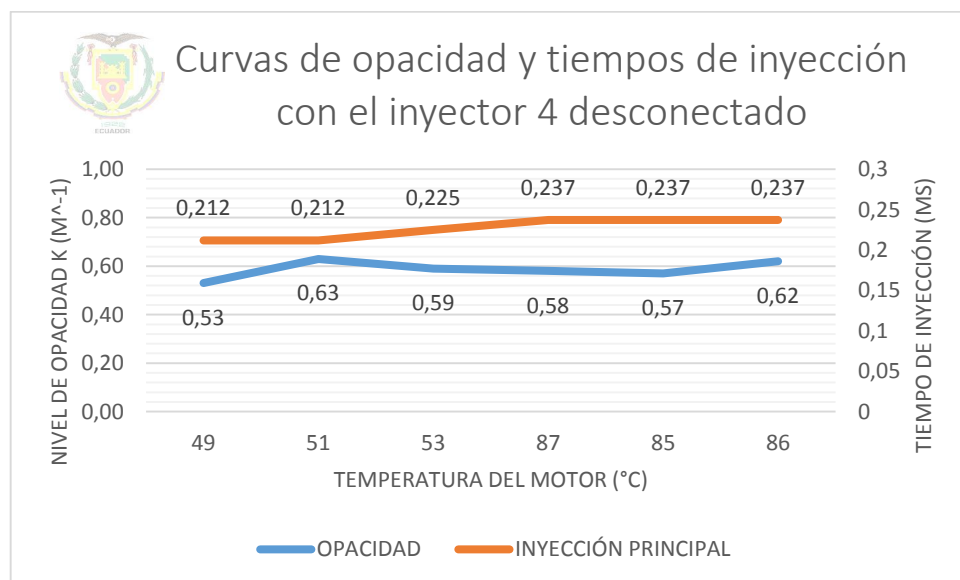


Figura 151 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con el inyector 4 desconectado, en frío y caliente

La curva de la duración de la inyección principal en el rango de temperatura de 49 a 53°C sube de 0,212 a 0,225mS, y a partir de la cuarta prueba el tiempo se estabiliza en 0,237mS. Los valores de opacidad oscilan

entre 0,53 y 0,63m⁻¹, presentando estabilidad al darse las pruebas a 53, 87 y 85°C.

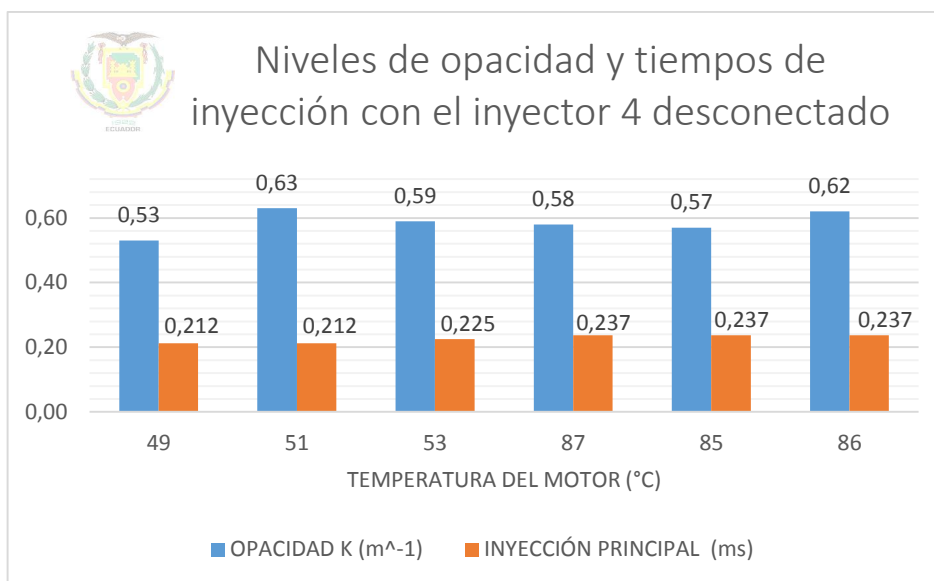


Figura 152 Valores de opacidad y tiempos de inyección con el inyector 4 desconectado, en frío y caliente

- **Resumen de DTC de los inyectores**

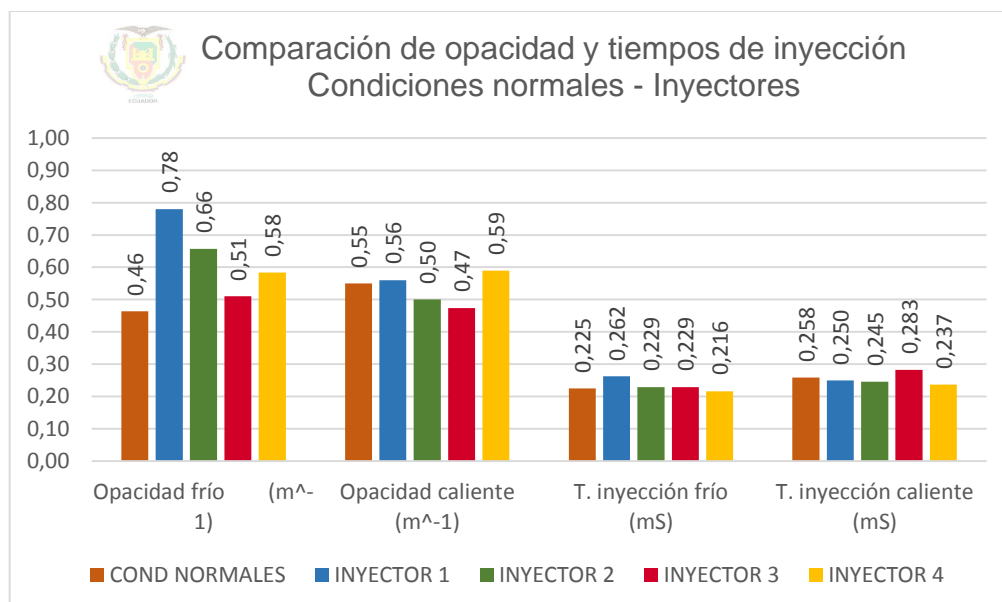


Figura 153 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales e inyectores

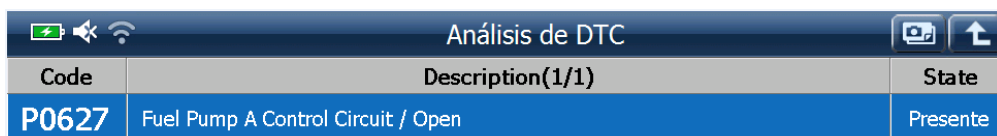
La desconexión del inyector 1 genera los niveles más altos de opacidad y duración de la inyección con $0,78\text{m}^{-1}$ y $0,262\text{mS}$ respectivamente cuando el motor funciona en frío, mientras que en caliente la opacidad se eleva únicamente en $0,01\text{m}^{-1}$ y la inyección $0,008\text{mS}$ en comparación a lo obtenido en condiciones normales.

Al desconectar el inyector 2 con el motor en frío se incrementa la opacidad en $0,20\text{m}^{-1}$ comparado con el $0,46\text{m}^{-1}$ que se generó en el funcionamiento normal del motor, y también el tiempo de inyección que alcanzó $0,229\text{mS}$. Para la prueba a alta temperatura la opacidad se redujo $0,05\text{m}^{-1}$ en relación a los $0,55\text{m}^{-1}$ de base; y el tiempo de inyección bajó a $0,245\text{mS}$.

Con la falla del inyector 3 se presenta la menor variación de los niveles de opacidad, produciendo en frío un incremento a $0,51\text{m}^{-1}$ y en caliente una disminución a $0,47\text{m}^{-1}$. A baja temperatura se aumenta la duración de la inyección a $0,229\text{mS}$, y a alta temperatura alcanza el mayor tiempo de todas las pruebas siendo este $0,283\text{mS}$.

Cuando se desconecta el inyector 4 para las pruebas con el motor en frío la opacidad aumenta de $0,46\text{m}^{-1}$ (condiciones normales) a $0,58\text{m}^{-1}$, mientras que el tiempo de inyección se reduce a $0,216\text{mS}$. Las pruebas con el motor caliente arrojan el incremento de la opacidad alcanzando $0,59\text{m}^{-1}$, y la disminución del tiempo de inyección con un valor de $0,237\text{mS}$.

4.6.2. Válvula de control de flujo de combustible SCV



Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0627	Fuel Pump A Control Circuit / Open	Presente

Figura 154 Reconocimiento de la falla de la válvula SCV

El sistema reconoce la desconexión de la válvula de control de aspiración y lo procesa como un DTC que se indica en el scanner.

Tabla 36
Datos obtenidos con la válvula SCV desconectada

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD	
				K (m ⁻¹)	N (%)
SCV	35-55	36	163	-	-
	80-100	87	186	-	-

Cuando el motor trabaja a 36°C se da un régimen de 163rpm, y al funcionar a 87°C gira a 186rpm. En ninguno de los dos casos se genera opacidad debido a que el motor no se enciende

4.6.3. Válvula de control de turbo de geometría variable VBC

Análisis de DTC		
Code	Description(1/1)	State
P0045	Turbocharger/Supercharger Boost Control A Circuit / Open	Presente

Figura 155 Reconocimiento de la falla de la válvula VBC

La figura indica el DTC que se visualiza en el scanner cuando está desconectada la válvula de control de turbo de geometría variable.

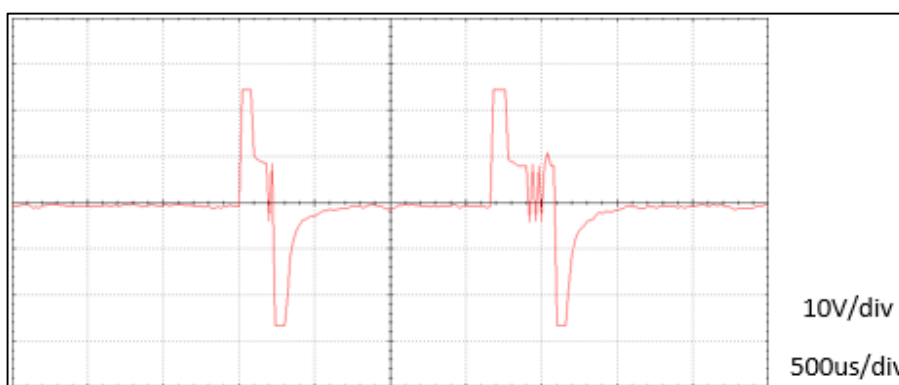


Figura 156 Oscilograma de inyección con la válvula VBC desconectada, con el motor en frío

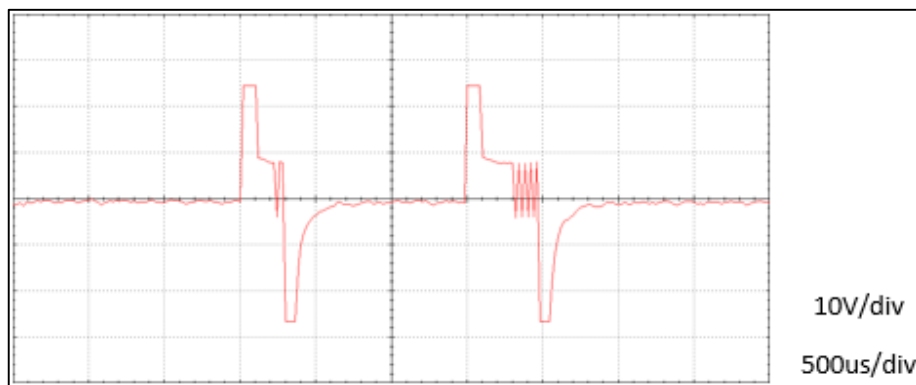


Figura 157 Oscilograma de inyección con la válvula VBC desconectada, con el motor en caliente

La figura 156 indica que el tiempo de inyección se reduce 6,86% ($0,209\text{ms}$) al realizarse la prueba en frío, mientras que la figura 157 muestra una reducción de 0,9% ($0,256\text{ms}$) con el motor caliente; en ambos casos el inyector se activa con 25V.

Tabla 37
Datos obtenidos con la válvula VBC desconectada

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE-INYECCIÓN TOTAL (ms)	INYECCIÓN PRINCIPAL TOTAL (ms)
				K (m^{-1})	N (%)		
VBC	35-55	40	2272	0,96	31,89	0,200	0,200
		41	2271	0,85	28,82	0,200	0,200
		42	2285	0,97	32,16	0,225	0,200
		43	2303	1,13	36,36	0,200	0,237
	Promedio	41,5	2282,75	0,98	32,31	0,206	0,209
	80-100	87	2291	0,89	29,95	0,237	0,325
		87	2291	0,99	32,70	0,250	0,250
		86	2291	0,95	31,61	0,250	0,237
		86	2293	0,98	32,43	0,275	0,212
		Promedio	86,5	2291,5	0,95	31,67	0,253

La tabla presenta los promedios de los parámetros establecidos para los análisis, obtenidos de las cuatro mediciones requeridas por el opacímetro. El tiempo de inyección principal ($0,209\text{ms}$) y la pre-inyección ($0,206\text{ms}$) en frío, se da a $41,5^{\circ}\text{C}$, cuando el motor alcanza una velocidad de giro de $2282,75\text{rpm}$ y se genera $32,31\%$ ($0,98\text{m}^{-1}$) de opacidad. En caliente la pre-inyección dura

0,253mS y la inyección principal 0,256mS, mientras el motor funciona a 86,5°C con un régimen de 2291,5rpm, produciendo 31,67% (0,95m⁻¹) de opacidad.

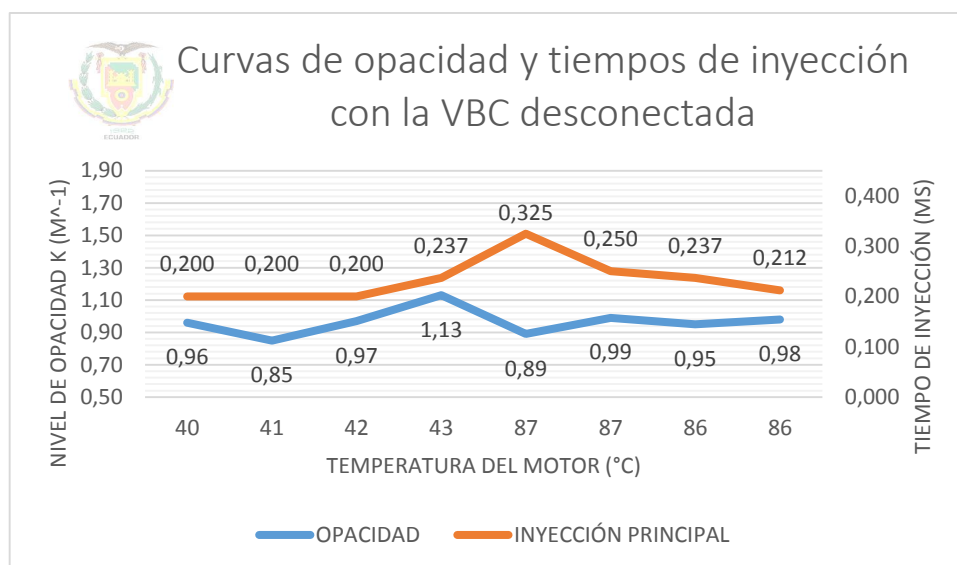


Figura 158 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor con la válvula VBC desconectada, en frío y caliente

La curva de tiempos de inyección no presenta variación en las tres primeras pruebas, con una duración de 0,200mS; el valor más alto de tiempo se da a 87°C con 0,325mS y a continuación tienden a reducirse los valores, hasta un mínimo de 0,212mS. El mínimo nivel de opacidad es 0,89m⁻¹ que se da durante el mayor tiempo de inyección a 87°C, y el máximo de 1,13m⁻¹ a 43°C.

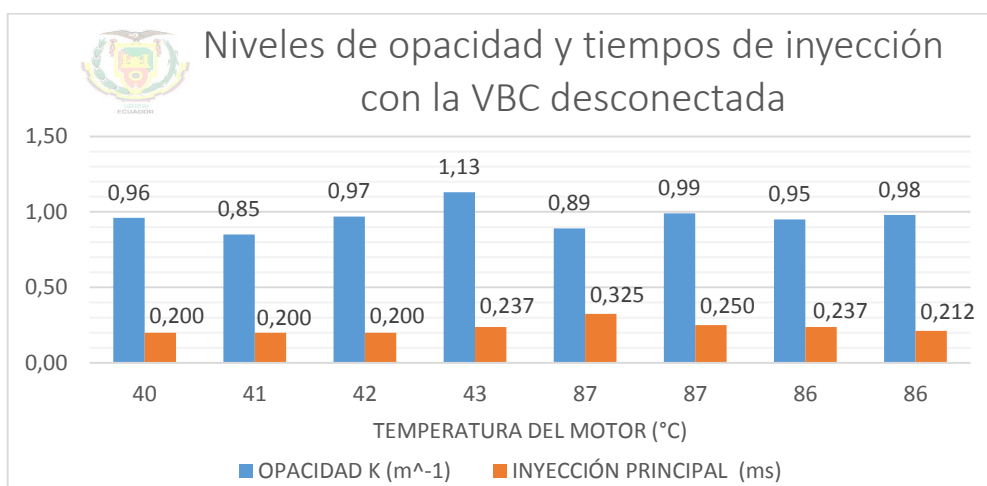


Figura 159 Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor con la válvula VBC desconectada, en frío y caliente

- **Resumen de la válvula de control de turbo de geometría variable**

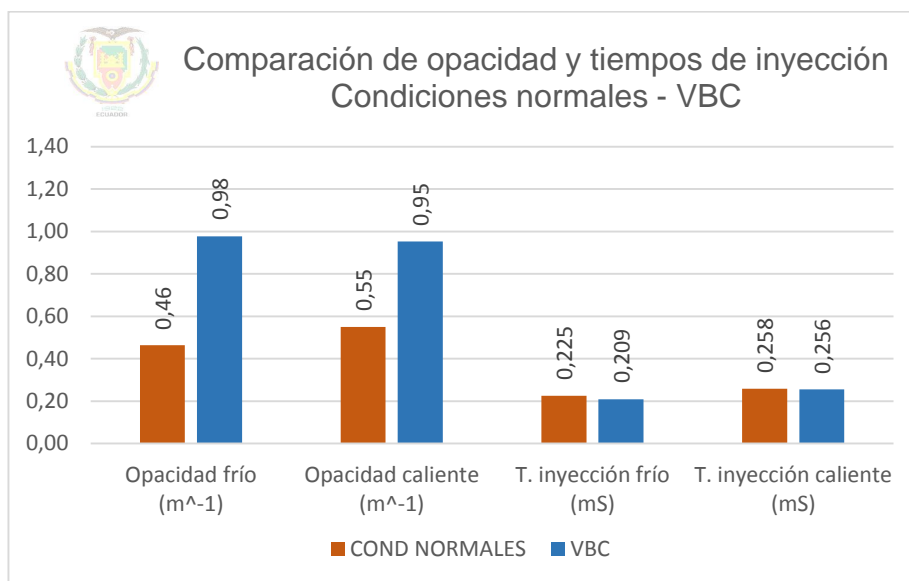


Figura 160 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y la válvula VBC

Cuando la válvula VBC está desconectada la opacidad se eleva considerablemente tanto en frío como en caliente, alcanzando niveles de $0,98\text{m}^{-1}$ y $0,95\text{m}^{-1}$ respectivamente. Para los tiempos de inyección, en cambio, se da una disminución en comparación con los valores obtenidos en pruebas a condiciones normales, en ambos casos, durando en frío $0,209\text{mS}$ y en caliente $0,256\text{mS}$.

4.7. Combinaciones

4.7.1. DTC alto en el sensor ECT y desconexión del inyector 2

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0118	Engine Coolant Temperature Sensor 1 Circuit High	Presente
P0202	Cylinder 2 Injector Circuit / Open	Presente

Figura 161 Reconocimiento de la falla del sensor ECT y del inyector 2

El scanner refleja la información indicada en la figura anterior cuando se desconecta el sensor ECT originándose una falla en alto, y también se desconecta el inyector 2.

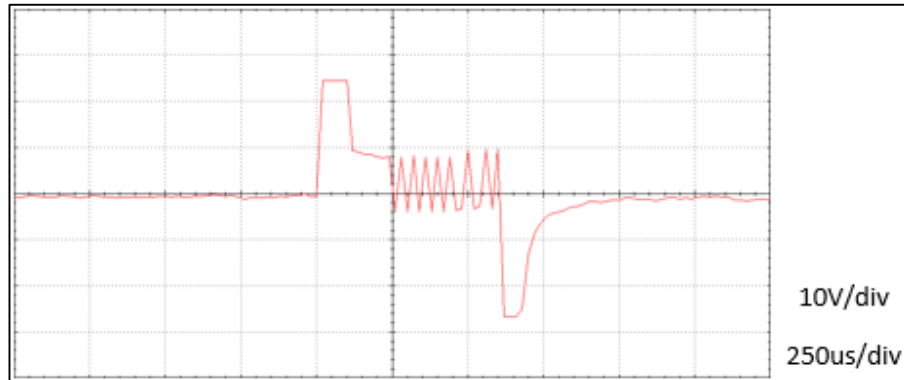


Figura 162 Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, con el motor en frío

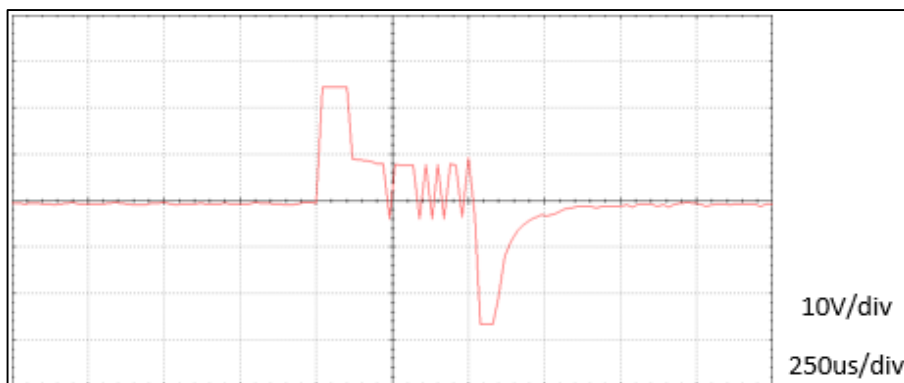


Figura 163 Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, con el motor en caliente

La figura 162 indica el oscilograma del inyector cuando se realiza la prueba con el motor en frío, condición en la que el tiempo de inyección se incrementa 0,04% ($0,225mS$); también se observa en la figura 163 que la duración de la inyección disminuye en 9,32% ($0,234mS$). Para los dos casos se muestra que el inyector se activa con 25V.

Tabla 38
Datos obtenidos al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2

COMBINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
ECT + INY2	35-55	43	3175	2,07	56,31	0,250
		49	4486	0,88	29,67	0,212
		53	4507	0,98	32,43	0,187
		56	4502	1,05	34,30	0,250
	Promedio	50,25	4167,50	1,25	38,18	0,225
	80-100	88	4622	1,47	44,46	0,225
		89	4656	0,56	20,07	0,237
		90	4646	0,52	18,78	0,225
		92	4670	0,57	20,39	0,250
		Promedio	89,75	4648,50	0,78	25,92

Según la tabla 38 el tiempo de inyección de 0,225ms se da a 50,25°C y una velocidad de giro del motor de 4167,50rpm, generando 38,18% (1,25m⁻¹) de opacidad. A 89,75°C y con un régimen de giro del motor de 4648,50rpm, la inyección dura 0,234ms y se genera 25,92% (0,78m⁻¹) de opacidad.

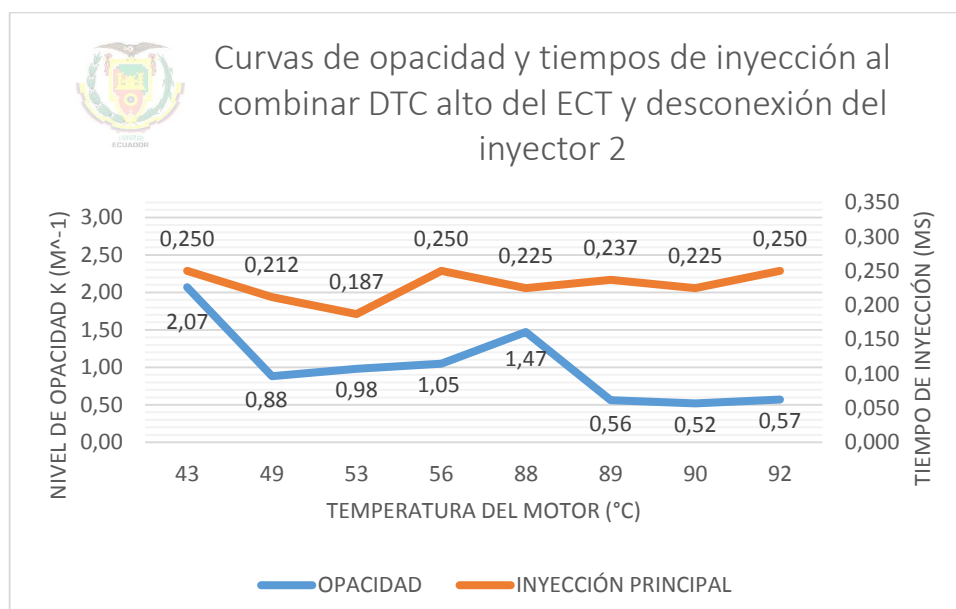


Figura 164 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, en frío y caliente

La menor duración del tiempo de inyección es $0,187\text{ms}$ y se da a 53°C generando un nivel de opacidad de $0,98\text{m}^{-1}$; mientras que la inyección más extensa dura $0,250\text{ms}$ y se da repetidamente en 43 , 56 y 92°C . El comportamiento de la curva de opacidad indica que el mayor nivel se presenta a 43°C con $2,07\text{m}^{-1}$; y el nivel más bajo a 90°C con $0,52\text{m}^{-1}$.

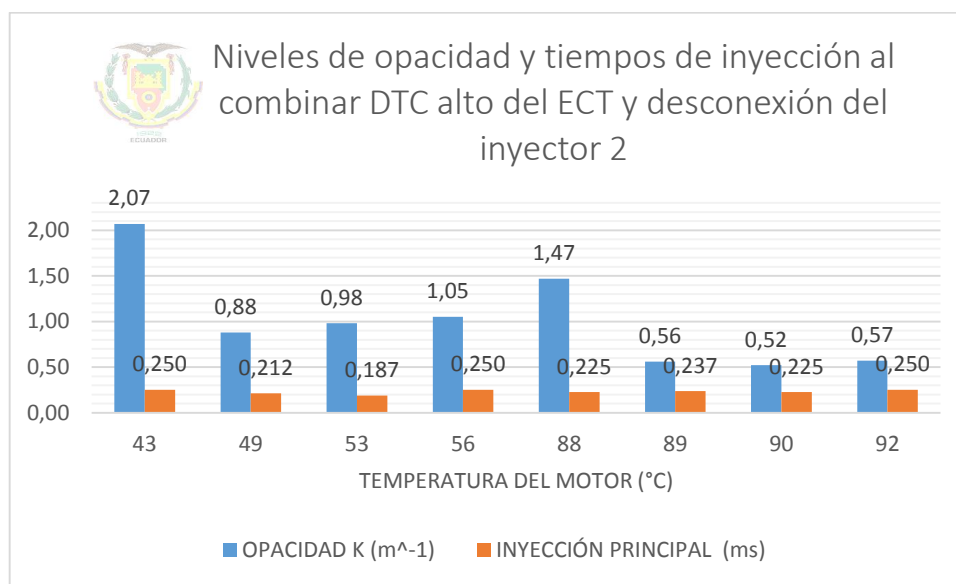


Figura 165 Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del ECT y desconectar el inyector 2, en frío y caliente

4.7.2. DTC alto en los sensores MAP y ECT

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0108	Manifold Absolute Pressure/BARO Sensor High	Presente
P0118	Engine Coolant Temperature Sensor 1 Circuit High	Presente

Figura 166 Reconocimiento de la falla de los sensores MAP y ECT

La figura anterior indica el listado de códigos de fallas del sistema que registra el computador, se observan los DTC altos tanto del sensor MAP como del ECT.

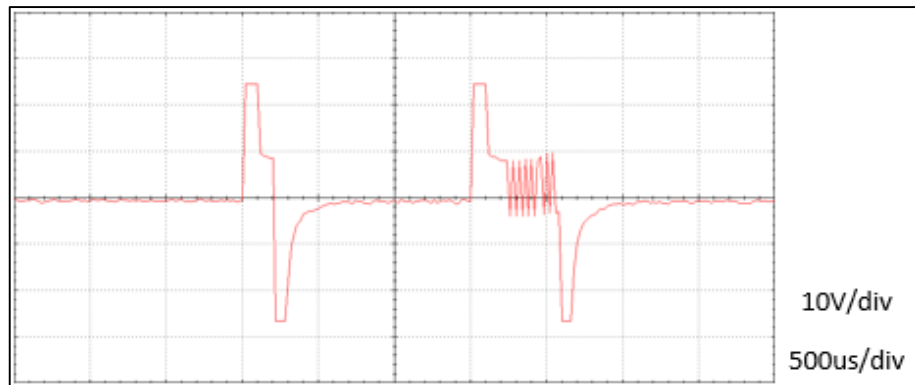


Figura 167 Oscilograma de inyección al combinar al combinar falla en alto del MAP y ECT, con el motor en frío

En frío el inyector se activa con 25V, y el tiempo de inyección se incrementa 0,15% (0,225mS) lo que es casi imperceptible.

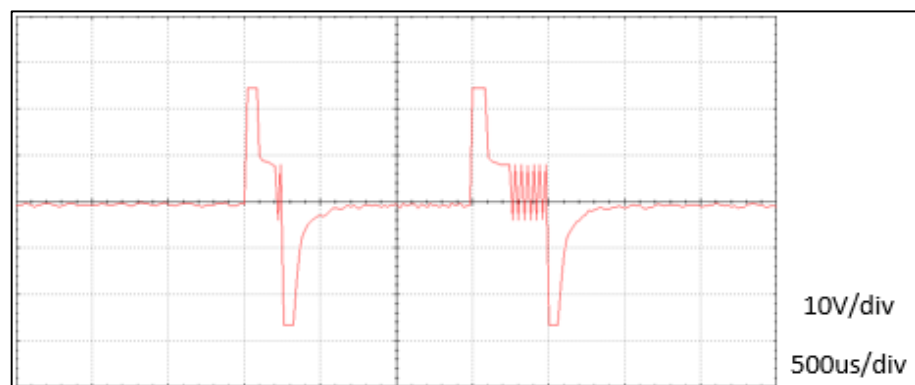


Figura 168 Oscilograma de inyección al combinar al combinar falla en alto del MAP y ECT, con el motor en caliente

En el oscilograma de la figura 168 el inyector también se activa con 25V, pero a diferencia de la prueba en frío el tiempo de inyección de combustible se reduce el tiempo de inyección 1,19% (0,255mS).

Tabla 39
Datos obtenidos al combinar falla en alto del MAP y ECT

COMBINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE-INYECCIÓN	INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)	TOTAL (ms)
MAP + ECT	35-55	41	2244	1,52	45,56	0,200	0,250
		43	2295	0,96	31,89	0,212	0,250
		45	2276	1,18	37,62	0,200	0,200
		47	2281	1,09	35,34	0,212	0,200
		Promedio	44	2274	1,19	37,60	0,206
	80-100	82	2284	1,01	33,24	0,225	0,199
		83	2289	1,10	35,60	0,212	0,274
		84	2298	1,01	33,24	0,262	0,274
		84	2298	1,06	34,56	0,225	0,274
		Promedio	83,25	2292,25	1,05	34,16	0,231

La tabla 39 indica que la duración de la inyección en frío se da cuando el motor gira a 2274rpm y 44°C, dando como resultado 37,60% (1,19m⁻¹) de opacidad. La inyección detallada para el funcionamiento en caliente se da con un régimen de 2292,25rpm y 83,25°C, generando 34,16% (1,05m⁻¹) de opacidad.

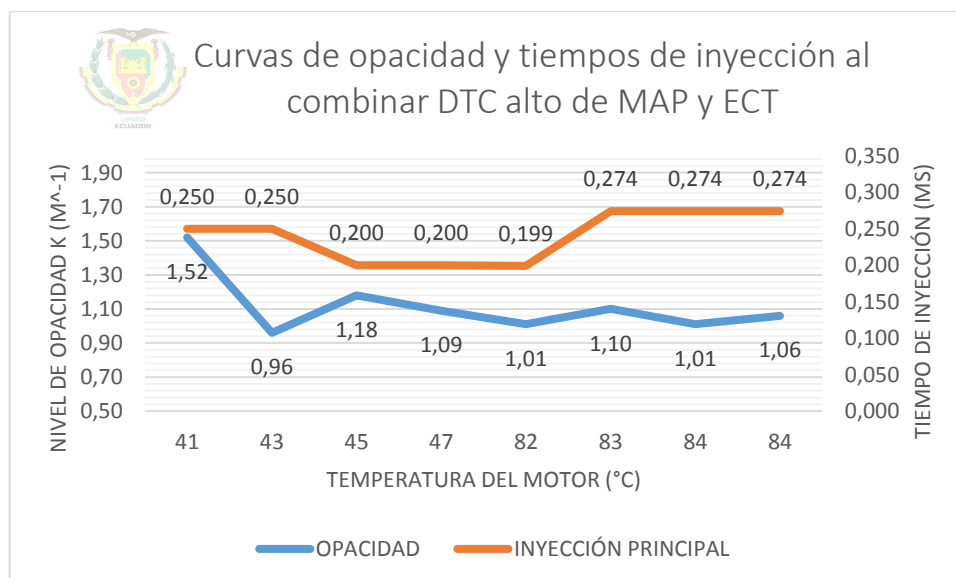


Figura 169 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP y ECT, en frío y caliente

La curva de tiempos de inyección presenta tres etapas de estabilidad, la primera fija el valor en $0,250mS$ y se da a 41 y $43^{\circ}C$, la segunda dura $0,200mS$ a 45 y $47^{\circ}C$, y la tercera se da en las tres últimas pruebas con un tiempo de $0,274mS$. La opacidad oscila entre $0,96$ y $1,52m^{-1}$ con mayor estabilidad.

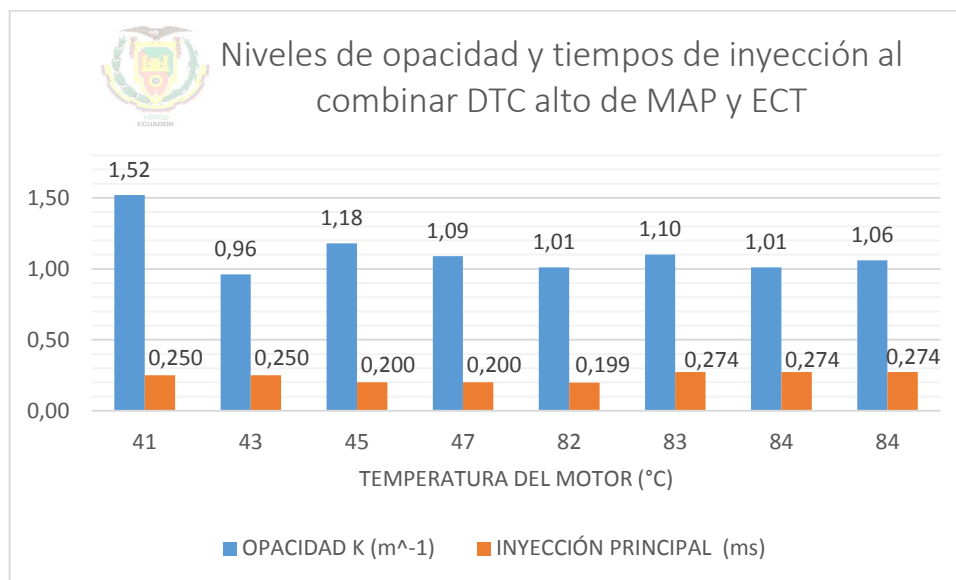


Figura 170 Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP y ECT, en frío y caliente

4.7.3. DTC bajo en el sensor MAF y DTC alto en el sensor IAT1

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0113	Intake Air Temperature Sensor 1 Circuit High (Bank 1)	Presente
P0102	Mass or Volume Air Flow A Circuit Low	Presente

Figura 171 Reconocimiento de la falla de los sensores MAF e IAT1

El scanner refleja la presencia de falla en alto del sensor IAT1 y la falla en bajo del sensor MAF.

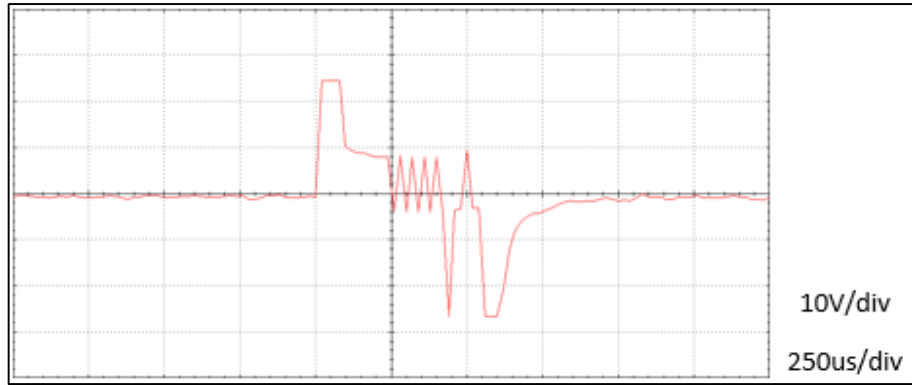


Figura 172 Oscilograma de inyección al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, con el motor en frío

La prueba al combinar fallas del sensor MAF e IAT1 en frío hacen que la activación del inyector se dé con 25 V y la duración de la inyección se incremente 11,28% (0,250ms).

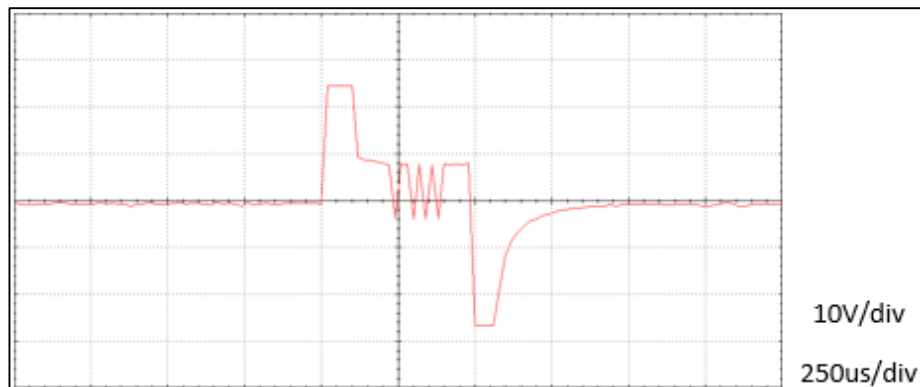


Figura 173 Oscilograma de inyección al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, con el motor en caliente

En la prueba a alta temperatura el inyector se activa también con 25V, pero el tiempo de inyección disminuye 13,03% (0,225ms), como indica la figura 173.

Tabla 40
Datos obtenidos al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1

COMBINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)
MAF + IAT1	35-55	45	4667	0,68	23,81	0,250
		47	4697	0,53	19,10	0,250
		50	4729	0,61	21,65	0,250
	Promedio	47,33	4697,67	0,61	21,52	0,250
	80-100	86	4847	0,47	17,14	0,237
		85	4865	0,46	16,81	0,225
		85	4863	0,44	16,14	0,212
		Promedio	85,33	4858,33	0,46	16,69

El tiempo de inyección a bajas temperaturas especificado anteriormente se da a un temperatura promedio de 47,33°C y con una velocidad de giro del motor de 4697,67rpm, condiciones con las que se produce 21,52% (0,61m⁻¹) de opacidad. La duración de la inyección de combustible a altas temperaturas se da a un promedio de 85,33°C con un régimen de giro del motor de 4858,33rpm, y generando un nivel de opacidad del 16,69% (0,46m⁻¹).

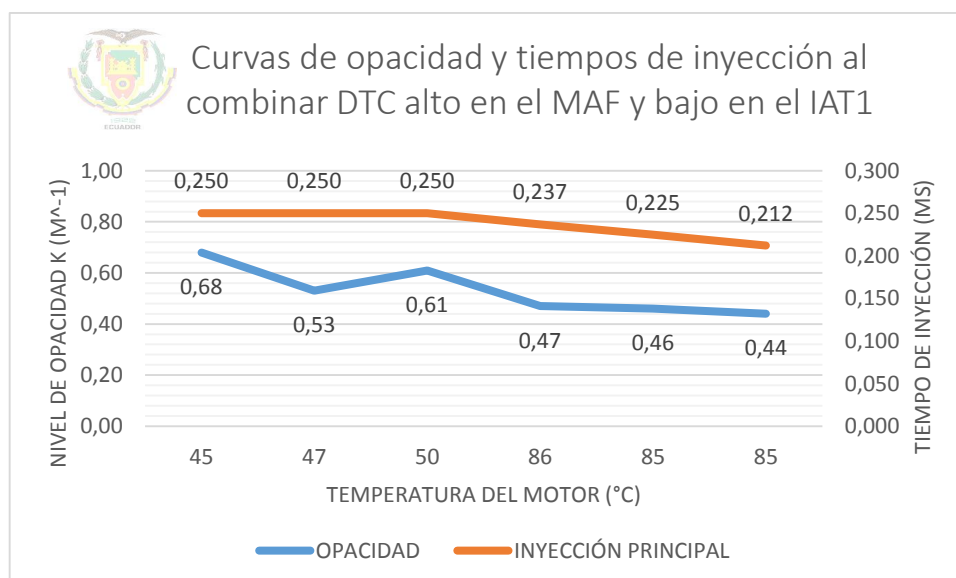


Figura 174 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, en frío y caliente

Las tres primeras pruebas dan un mismo tiempo de inyección que es $0,250\text{ms}$ y a partir de ello tiende a reducir hasta un mínimo de $0,212\text{ms}$ con el motor funcionando a 85°C . La opacidad a 45°C alcanza el valor más alto de $0,68\text{m}^{-1}$, en 47°C el valor se reduce a $0,53\text{m}^{-1}$, para a continuación llegar a $0,61\text{m}^{-1}$ en 50°C ; mientras que en las tres últimas pruebas, al igual que el tiempo de inyección la opacidad disminuye, llegando a $0,44\text{m}^{-1}$.

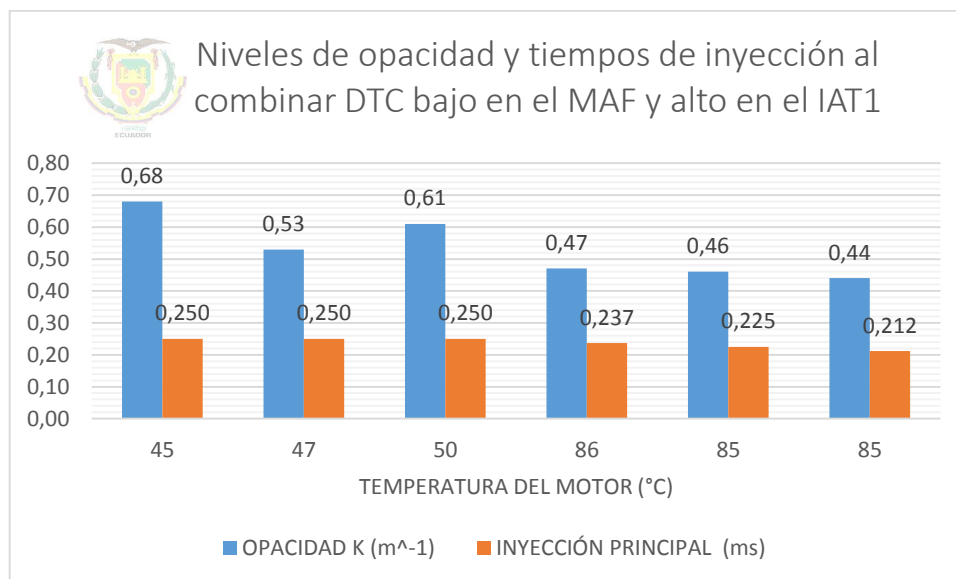


Figura 175 Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en bajo del MAF y falla en alto del IAT1, en frío y caliente

4.7.4. DTC alto en los sensores MAP e IAT2

Análisis de DTC		
Code	Description(1/2)	State
P0098	Intake Air Temperature Sensor 2 Circuit High (Bank 1)	Presente
P0108	Manifold Absolute Pressure/BARO Sensor High	Presente

Figura 176 Reconocimiento de la falla de los sensores MAP e IAT2

Las fallas en alto de los sensores MAP e IAT2 son indicadas a la computadora, misma que informa los daños a través del scanner.

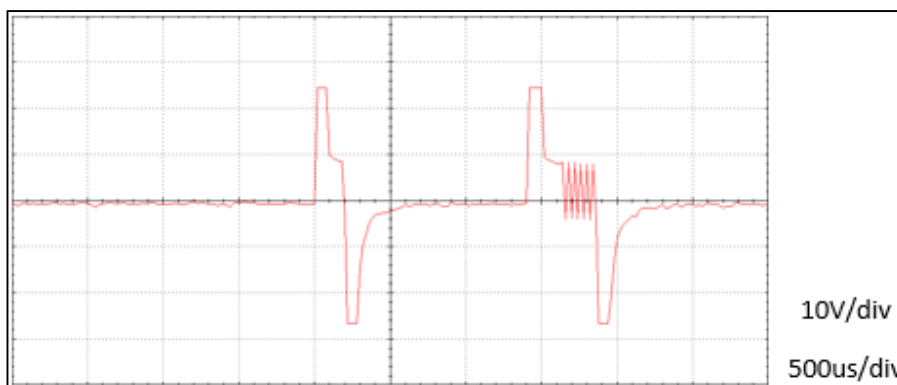


Figura 177 Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del MAP e IAT2, con el motor en frío

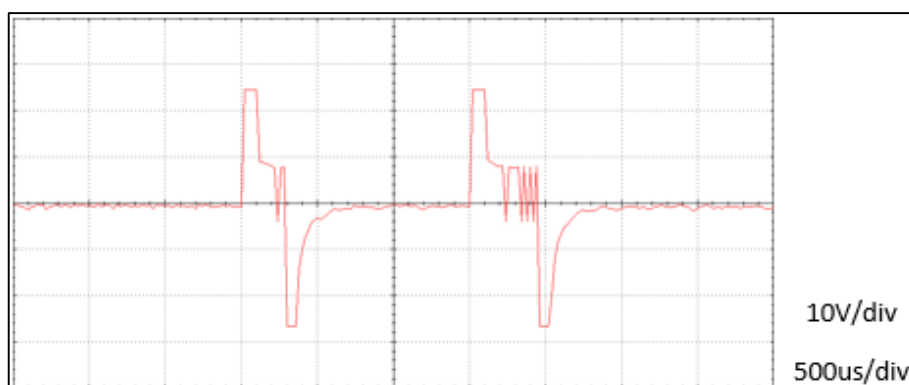


Figura 178 Oscilograma de inyección al combinar falla en alto del MAP e IAT2, con el motor en caliente

Las figuras 177 y 178 indican que tanto para las pruebas en frío como en caliente el inyector se activa con 25V; con la diferencia de que para la primera condición existe un incremento de 3,71% (0,233ms) en la duración de la inyección, mientras que con la segunda condición de prueba se da una reducción de 12,9% (0,225ms).

Tabla 41
Datos obtenidos al combinar falla en alto del MAP e IAT2

COMBINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE- INYECCIÓN	INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)	TOTAL (ms)
MAP + IAT2	35-55	40	2295	0,72	25,02	0,205	0,175
		41	2265	0,70	24,42	0,200	0,250
		42	2287	0,76	26,21	0,212	0,274
	Promedio	41	2282,33	0,73	25,22	0,206	0,233
	80-100	87	2294	0,63	22,28	0,225	0,225
		86	2290	0,78	26,80	0,225	0,225
		86	2292	0,78	26,80	0,250	0,225
Promedio	86,33	2292	0,73	25,29	0,233	0,225	

Cuando el motor funciona a una temperatura promedio de 41°C con velocidad de giro de 2282,33rpm, se produce 25,22% ($0,73m^{-1}$) de opacidad y una pre-inyección de 0,206mS. A la temperatura promedio de 86,33°C y con el motor girando 2292rpm, se produce una opacidad de 25,29% ($0,73m^{-1}$), mientras que la pre-inyección dura 0,233mS.

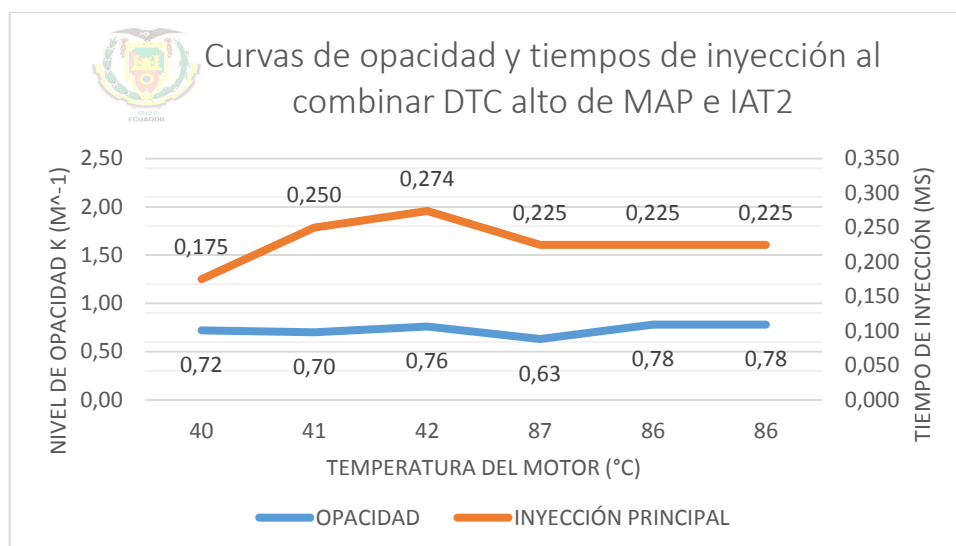


Figura 179 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP e IAT2, en frío y caliente

En las pruebas a bajas temperaturas el tiempo de inyección presenta un incremento, siendo así a 40°C 0,175mS, a 41°C 0,250mS y a 42°C 0,274mS que es la máxima duración obtenida en las pruebas. Las tres últimas pruebas registran estabilidad en 0,225mS.

La opacidad tiene su mínimo valor que es $0,63m^{-1}$ a los 87°C, y alcanza el valor más alto a 86°C, manteniéndose igual en las dos pruebas finales.

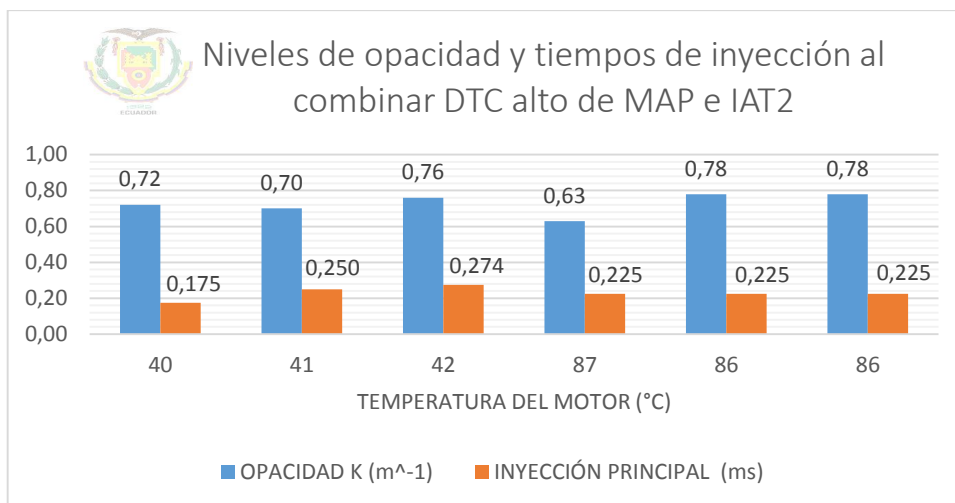


Figura 180 Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al combinar falla en alto del MAP e IAT2, en frío y caliente

4.7.5. Desconexión de la válvula VBC y del inyector 2

Análisis de DTC		
Code	Description(1/3)	State
P0045	Turbocharger/Supercharger Boost Control A Circuit / Open	Presente
P0202	Cylinder 2 Injector Circuit / Open	Presente

Figura 181 Reconocimiento de la desconexión de la válvula VBC e inyector 2

El análisis realizado por el scanner en el sistema detecta el DTC por desconexión de la válvula VBC y del inyector 2, esta última además se confirma con la señal de error emitida por el sensor de golpeteo.

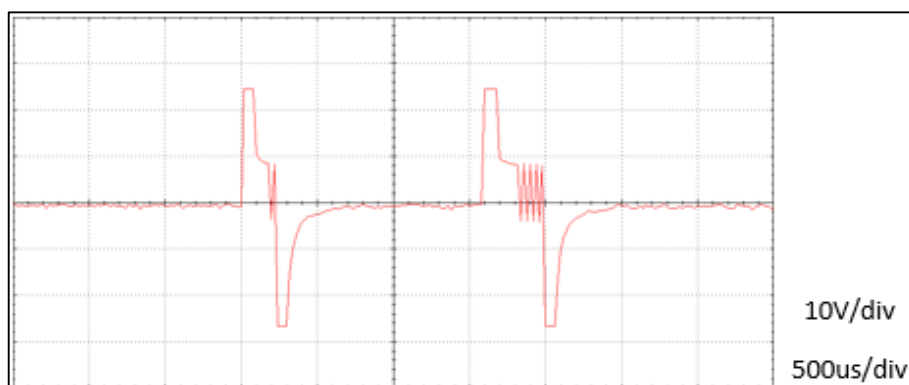


Figura 182 Oscilograma de inyección al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, con el motor en frío

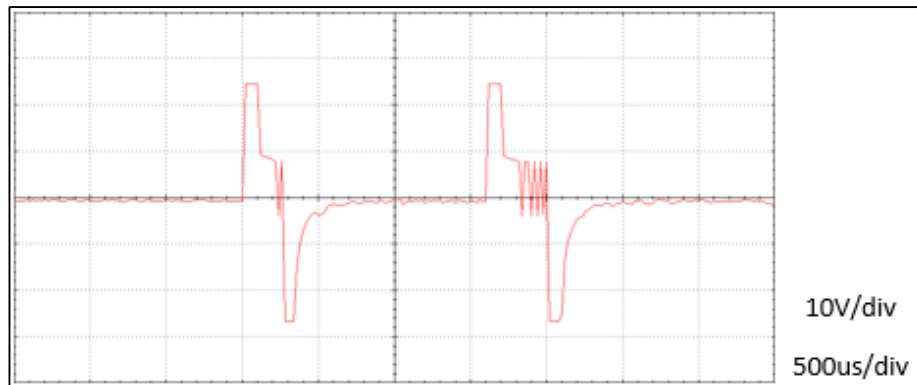


Figura 183 Oscilograma de inyección al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, con el motor en caliente

El inyector tanto para la prueba en frío como en caliente se activa con 25V. Como lo indica la figura 182 cuando el motor funciona a baja temperatura el tiempo de inyección disminuye 5,53% (0,212ms), mientras que al funcionar en caliente (Figura 183) la reducción es de 0,90% (0,256ms).

Tabla 42
Datos obtenidos al desconectar la válvula VBC y el inyector 2

COMBINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		PRE-INYECCIÓN	INYECCIÓN PRINCIPAL
				K (m ⁻¹)	N (%)	TOTAL (ms)	TOTAL (ms)
VBC + INY2	35-55	42	2293	1,46	44,23	0,212	0,199
		43	2273	1,29	40,31	0,212	0,200
		44	2272	1,28	40,07	0,200	0,250
		46	2263	1,33	41,26	0,200	0,200
	Promedio	43,75	2275,25	1,34	41,47	0,206	0,212
	80-100	87	2305	1,83	51,91	0,225	0,225
		87	2259	1,25	39,35	0,225	0,275
		86	2287	1,24	39,10	0,225	0,249
		86	2254	1,23	38,86	0,225	0,275
	Promedio	86,5	2276,25	1,39	42,30	0,225	0,256

Cuando el motor funciona a una temperatura media de 43,75°C y con una velocidad de giro de 2275,25rpm, la pre-inyección dura 0,206ms y se genera 41,47% (1,34m⁻¹) de opacidad. En cambio, cuando el motor alcanza una temperatura promedio de 86,5°C girando a 2276,25rpm, la duración de la pre-inyección es de 0,225ms, y se da un nivel de opacidad de 42,30% (1,39m⁻¹).

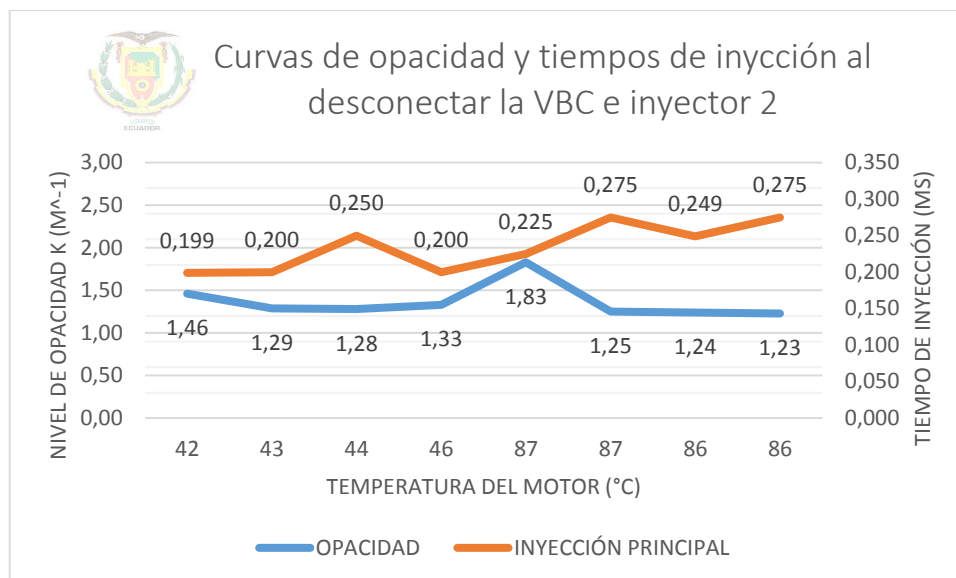


Figura 184 Curvas de opacidad y tiempos de inyección del motor al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, en frío y caliente

La duración del tiempo de inyección se incrementa desde un mínimo de 0,199ms dado a 42°C, hasta 0,275 que se presenta a 87 y 86°C. Los niveles de opacidad presentan cierta regularidad, a excepción del 1,83m⁻¹ que se obtiene a 87°C; mientras que la opacidad mínima se da a 86°C con un valor de 1,23m⁻¹.

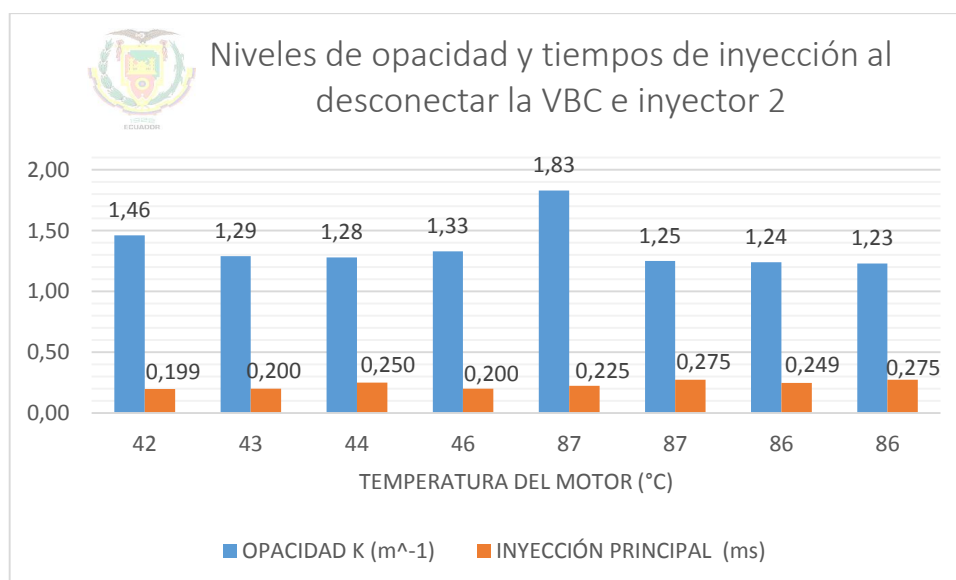


Figura 185 Valores de opacidad y tiempos de inyección del motor al desconectar la válvula VBC y el inyector 2, en frío y caliente

- **Resumen de combinaciones de DTC**

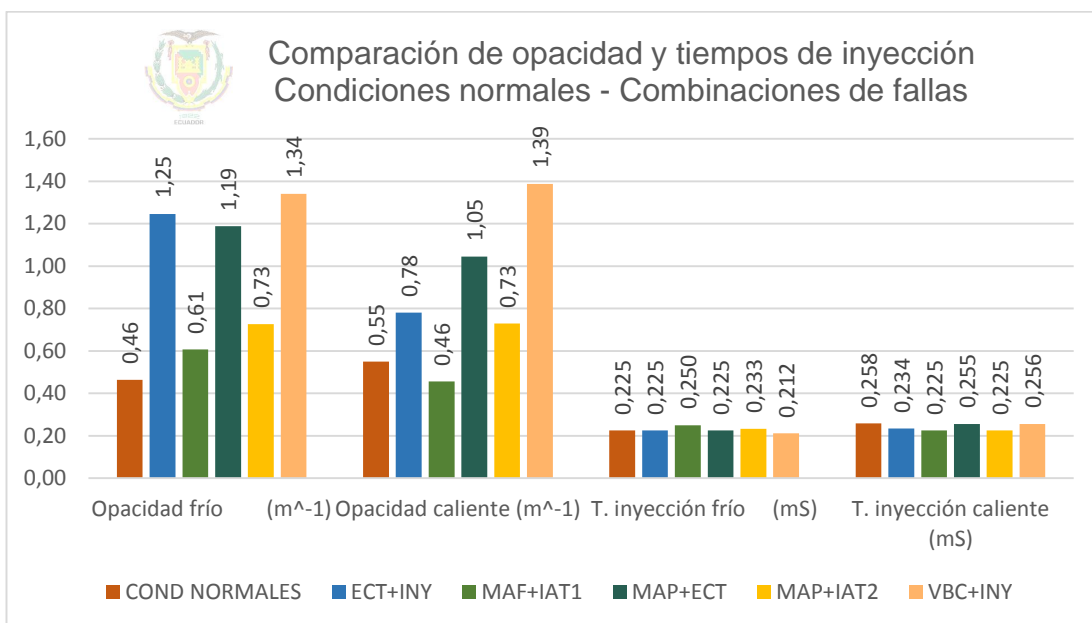


Figura 186 Comparación de opacidad y tiempos de inyección entre condiciones normales y combinaciones de fallas

Según la figura 186, al combinar el DTC alto del sensor ECT con la desconexión del inyector 2 la opacidad tanto para las pruebas en frío como en caliente superan los valores determinados en condiciones normales de funcionamiento, resultando $1,25\text{m}^{-1}$ y $0,78\text{m}^{-1}$ respectivamente. El tiempo de inyección en frío es $0,225\text{mS}$ manteniéndose igual que la duración base, pero en caliente se reduce $0,234\text{mS}$.

Si se presentan a la vez un DTC bajo en el sensor MAF y uno alto en el IAT1, la opacidad en la prueba en frío se incrementa a $0,61\text{m}^{-1}$ y en caliente disminuye del valor base a $0,46\text{m}^{-1}$; por otro lado el tiempo de inyección en la prueba en frío se incrementa a $0,250\text{mS}$ y en caliente disminuye a $0,225\text{mS}$.

Cuando existe DTC bajo en el sensor MAP y al mismo tiempo un ECT alto del sensor ECT la opacidad tanto en frío como en caliente se incrementa en comparación a los valores normales, siendo $1,19\text{m}^{-1}$ y $1,05\text{m}^{-1}$ respectivamente. Además en estas condiciones la duración de la inyección en frío se mantiene en $0,225\text{mS}$ y en caliente se reduce a $0,255\text{mS}$.

En el caso de la combinación de DTC bajo en el sensor MAP y DTC alto en el sensor IAT2, el valor de opacidad en frío y caliente es el mismo $0,73\text{m}^{-1}$, con lo que supera los valores obtenidos en las pruebas a condiciones normales. El tiempo de inyección en frío aumenta a $0,233\text{mS}$, mientras que para las pruebas en caliente disminuye a $0,225\text{mS}$.

Al comparar las pruebas realizadas con DTC en la válvula VBC y a la vez en el inyector 2, con los valores obtenidos en condiciones normales de funcionamiento, se observa que los niveles de opacidad tanto en frío como en caliente se elevan llegando a ser los más altos de todas las combinaciones con $1,34\text{m}^{-1}$ y $1,9\text{m}^{-1}$, respectivamente. La duración de la inyección en las dos condiciones se reduce, en frío a $0,212\text{mS}$ y en caliente a $0,256\text{mS}$.

4.8. Resumen de valores de opacidad en las pruebas con DTC en sensores

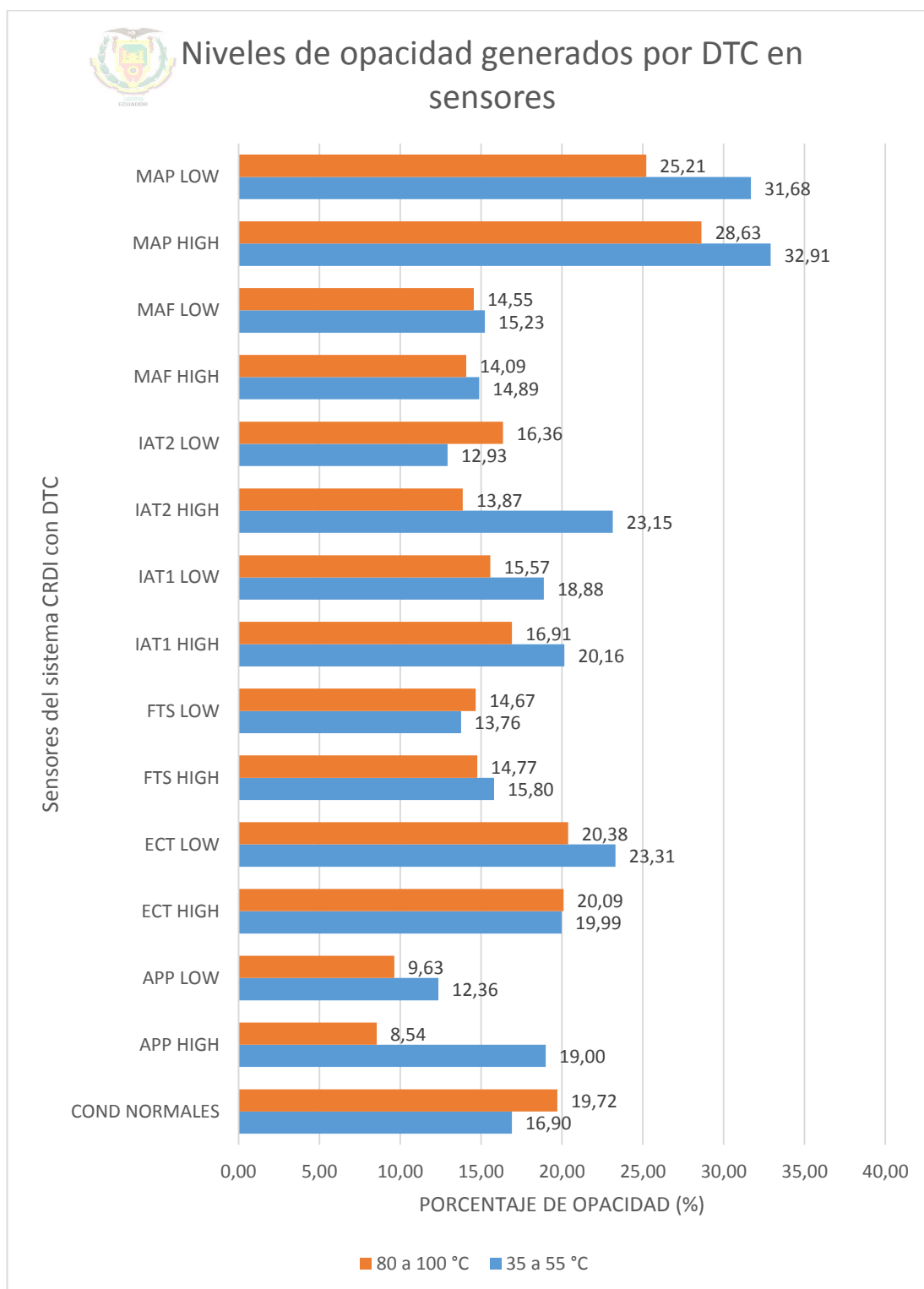


Figura 187 Niveles de opacidad promedio generados con DTC en los sensores

Los niveles de opacidad más bajos se presentan cuando existe algún DTC en el sensor de posición del pedal del acelerador, siendo el código en alto el menor para baja temperatura con el 8,54% y el código en bajo el menor para baja temperatura con el 12,36%.

En cambio los niveles más altos de opacidad se dan en el sensor de presión del aire de admisión con DTC alto, dando el 32,91% de opacidad para la prueba en frío y de 28,63% para la prueba en caliente.

4.9. Resumen de valores de opacidad en las pruebas con DTC en actuadores

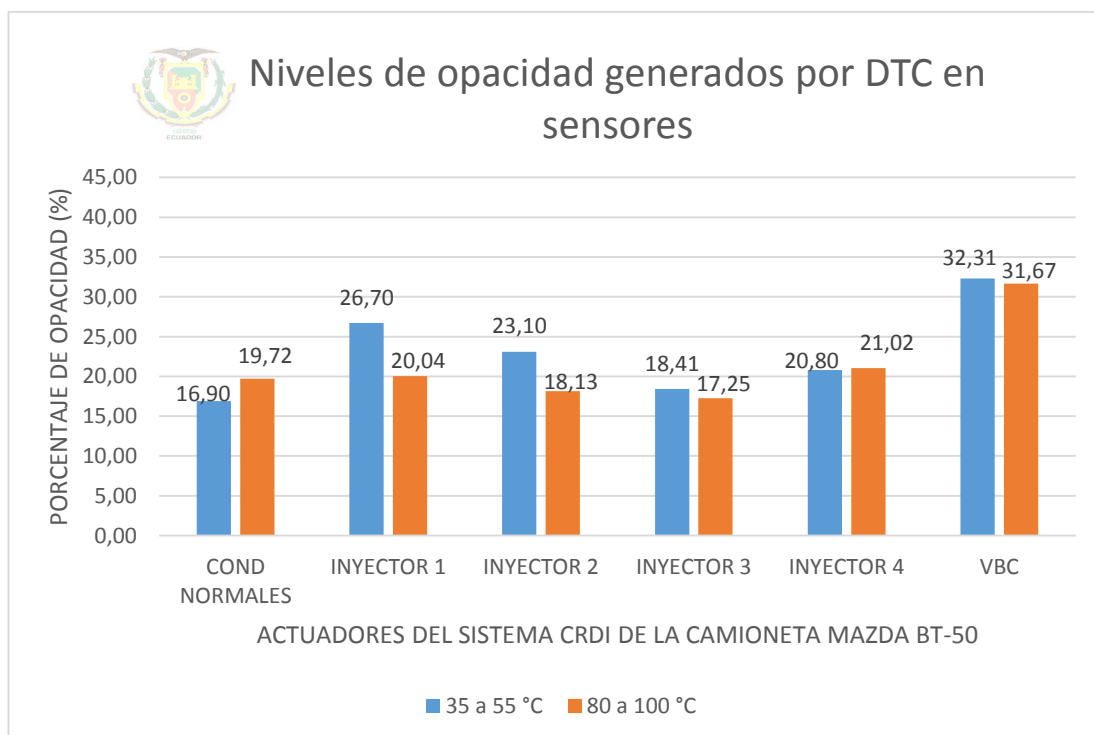


Figura 188 Niveles de opacidad promedio generados con DTC en actuadores

En el caso de las pruebas realizadas con DTC en los actuadores el mayor nivel de opacidad se presenta en el válvula de control de turbo VBC, tanto a baja temperatura con el 32,31% y a alta temperatura con el 31,67% de opacidad. En cambio los menores niveles de opacidad con un DTC en un

actuador se presenta en el inyector 3 con 18,41% de opacidad para la prueba en frío y 17,25% para la prueba en caliente, sin embargo únicamente este último es menor que el valor de condiciones normales.

4.10. Resumen de valores de opacidad en las pruebas con combinaciones de DTC

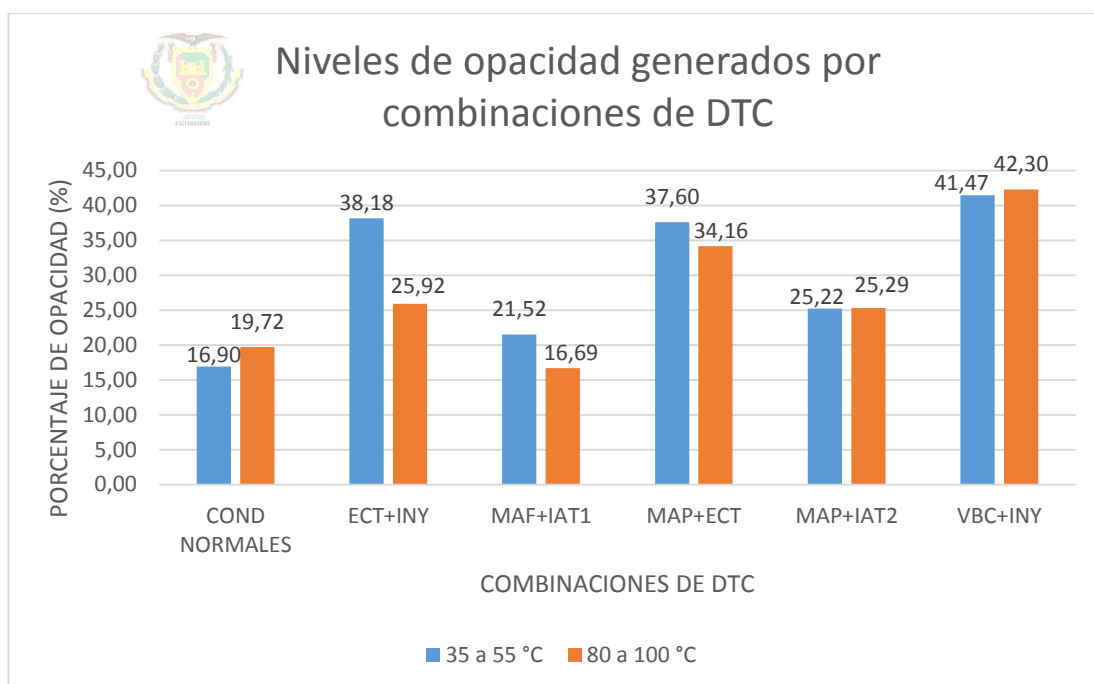


Figura 189 Niveles de opacidad promedio de combinaciones de DTC

En las pruebas realizadas con DTCs combinados de sensores y actuadores se generan los mayores niveles de opacidad a comparación de las anteriores pruebas, exceptuando la opacidad del sensor MAF e IAT1 en caliente donde el valor fue menor que condiciones normales. Para este grupo de pruebas se produjo el mayor nivel de opacidad para la combinación de los actuadores VBC e inyector llegando al 41,47% en la prueba a baja temperatura y de 42,30 a alta temperatura.

4.11. Resumen de tiempos de inyección en las pruebas con DTC en sensores

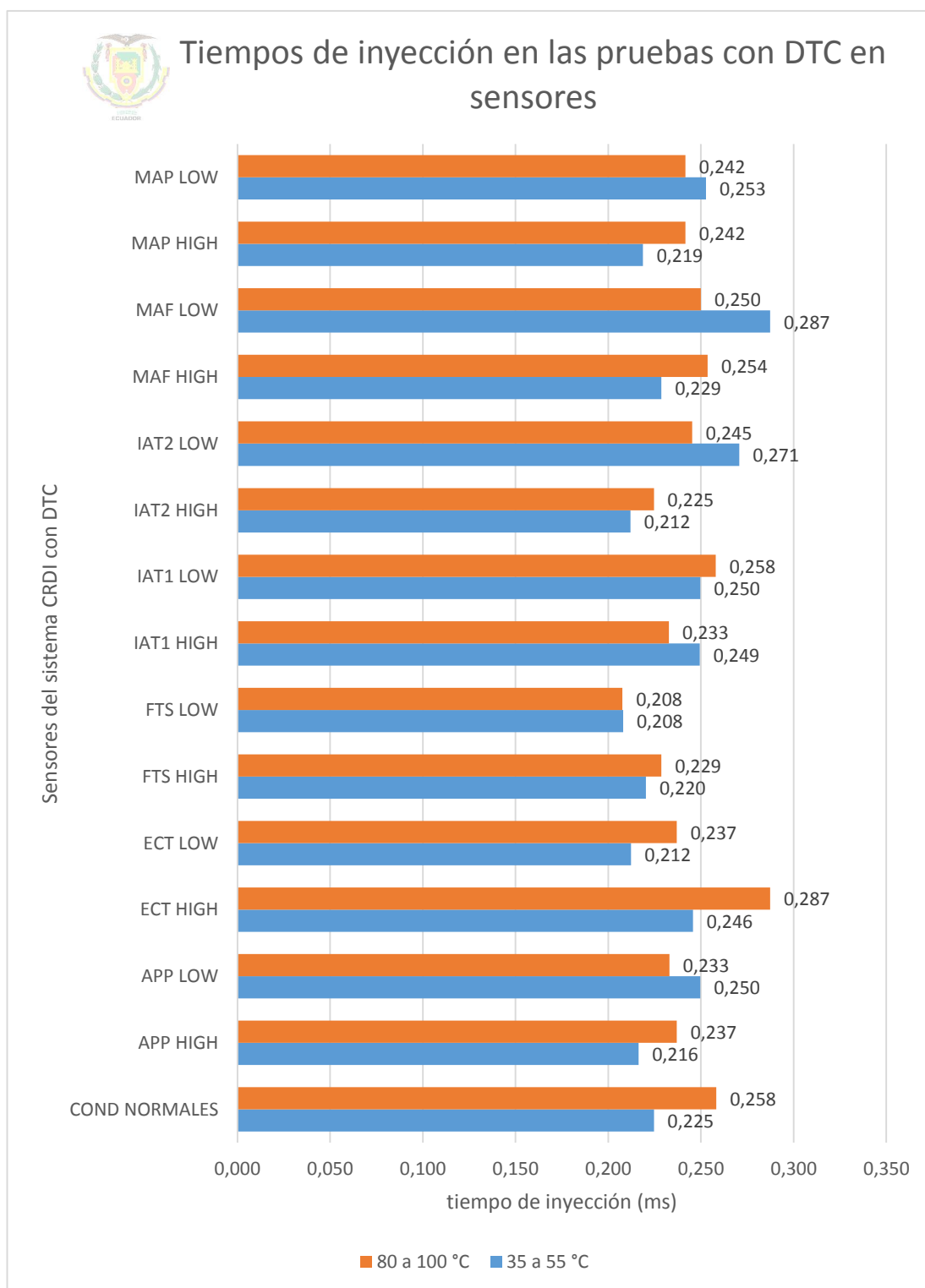


Figura 190 Tiempos de inyección cuando se presentan DTC en sensores

La mayor duración de la inyección de combustible es de $0,287mS$ y se da en frío cuando existe un DTC bajo en el sensor MAF, y en caliente cuando el sensor ECT presenta un DTC alto.

Cuando el sensor de temperatura del combustible presenta un DTC, ya sea alto o bajo el tiempo de inyección es el más bajo obtenido en las pruebas en frío y caliente, con una duración de $0,208mS$.

4.12. Resumen de tiempos de inyección en las pruebas con DTC en actuadores

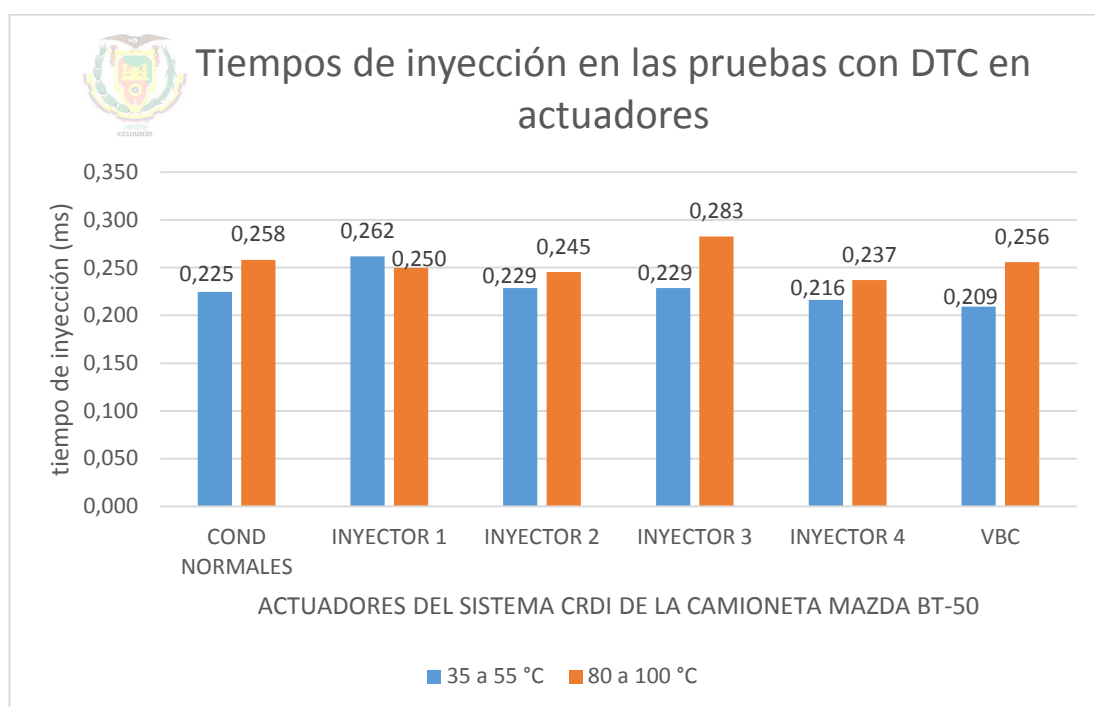


Figura 191 Tiempos de inyección cuando se presentan DTC en actuadores

La figura 191 indica que los tiempos de inyección en caliente son superiores a los tiempos dados en las pruebas en frío, a excepción del DTC en el inyector 1.

El tiempo más extenso se presenta con la prueba realizada con DTC en el inyector 3 y en caliente, siendo $0,283mS$; mientras que la menor duración es $0,209mS$ cuando existe un DTC en la válvula de control del turbo de geometría variable VBC.

4.13. Resumen de tiempos de inyección al combinar DTC

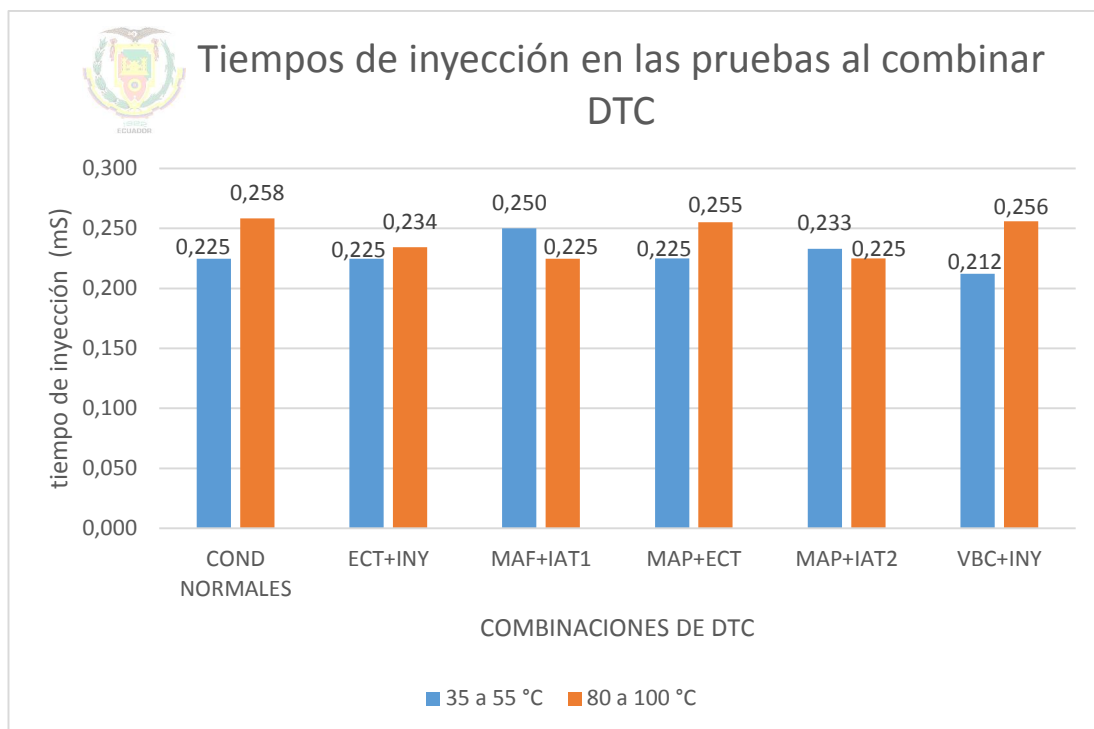


Figura 192 Tiempos de opacidad al combinar DTC

Los tiempos de inyección en frío se mantienen igual que en condiciones normales con una duración de $0,225mS$ al combinar DTC alto del sensor ECT con desconexión del inyector 2, y también DTC bajo en el MAP y alto en el ECT. La mayor duración se genera cuando existe a la vez DTC bajo en el sensor MAF y alto en el sensor IAT2, con un tiempo de $0,250mS$.

En caliente ninguna de las combinaciones de DTC supera el tiempo de inyección determinado en condiciones normales que es $0,258mS$; pero el valor más cercano es $0,256mS$ dado cuando se presenta DTC en la válvula VBC y el inyector 2 a la vez.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Para llevar a cabo la investigación científica con validez técnica, se requiere de varios aportes que permitan cumplir con cada una de las metas propuestas. En este capítulo se detallan los recursos humanos, físicos, materiales, tecnológicos, financieros, que se utilizaron con la finalidad de optimizar y facilitar el desarrollo del proyecto.

5.1.1. Recursos humanos

Los recursos humanos son el aporte principal al realizar un proyecto, pues las ideas y el conocimiento de la aplicabilidad del tema parten de ello.

Por ello, las diferentes etapas de la investigación involucran la ayuda de diferentes personas, cada una de ellas desarrollan un papel importante debido a que sus capacidades y disponibilidad, permiten que el trabajo sea eficiente y que se cumplan todas las actividades establecidas.

Tabla 43
Recursos Humanos

Recursos humanos	
Ing. Germán Erazo	Director
Ing. José Quiroz	Docente
David García	Investigadores
Paulina Logroño	

5.1.2. Recursos físicos

Para mayor eficiencia del trabajo y análisis de la investigación, se consideran espacios adecuados para cada actividad realizada; esto permite que los procedimientos se lleven a cabo ordenadamente y que a la vez los resultados obtenidos no estén afectados por factores externos.

Tabla 44
Recursos físicos

Recursos físicos	
Pruebas de laboratorio	Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L (Campus Belisario Quevedo)
Desarrollo teórico	Bibliotecas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
	Domicilio de los investigadores

5.1.3. Recursos materiales

Para realizar las pruebas de laboratorio se debe utilizar materiales técnicos específicos para las funciones requeridas; así también para la parte del desarrollo teórico y metodológico del proyecto son necesarios materiales de estudio y suministros.

Tabla 45
Recursos materiales

Recursos materiales	
Pruebas de laboratorio	Equipo de seguridad personal
	Herramientas automotrices
	Fusibles
	Cables de corriente
	Taípe
Desarrollo teórico	Libros
	Hojas de papel
	Esferos

5.1.4. Recursos tecnológicos

El desarrollo de las pruebas y análisis necesarios para el cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de la investigación, se lleva a cabo con la utilización de los siguientes equipos:

Tabla 46
Recursos tecnológicos

Recursos tecnológicos	
Pruebas de laboratorio	Camioneta Mazda BT-50
	Opacómetro BRAIN BEE
	Osciloscopio OWON PDS5022T
	Scanner Automotriz GSCAN 2
	Cuenta revoluciones automotriz
	Multímetro
	Computador
Desarrollo teórico	Internet
	Computadora
	Impresora

5.1.5. Recursos financieros

El proyecto al ser de calidad técnico, requiere la utilización de equipos, materiales e implementos que representan costos económicos, asumidos de manera neta por las partes involucradas en el desarrollo del proyecto.

Los recursos financieros se refieren al este presupuesto económico utilizado en la ejecución de la investigación, mismo que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 47
Recursos financieros

Ord.	Cant.	Unid.	Detalle	Unitario	Total
1	2	Gal.	Aceite de motor	24.00	48.00
2	1	Unid.	Filtro de aire	5.00	5.00
3	20	Gal.	Diesel	1.03	20.60
4	2	Unid.	Equipo de seguridad personal	10.00	20.00
5	1	Jgo.	Herramientas manuales	250.00	250.00
6	5	Unid.	Limpia contactos	11.00	55.00
7	5	Unid.	Guaípe	1.00	5.00
8	1	\$	Alquiler opacímetro	200.00	200.00
9	1	\$	Alquiler osciloscopio	200.00	200.00
10	1	\$	Alquiler vehículo	400.00	400.00
11	1	\$	Transporte	120.00	120.00
12	1	\$	Gastos extras	100.00	100.00
13	1000	Unid.	Papel Bond	0.01	10.00
14	1000	Unid.	Impresiones	0.05	50.00
TOTAL GENERAL					1483.60

5.2. Análisis de costo del proyecto

Se debe considerar que previo a la ejecución de las pruebas necesarias para la investigación se realiza un mantenimiento básico del motor de la camioneta Mazda BT-50, para lo que se llevó a cabo la adquisición y cambio del aceite de motor diesel y filtro de aire; además la verificación del nivel de combustible y el alquiler de los equipos tecnológicos.

El presupuesto determinado para la investigación es relativo, pues la magnitud del proyecto y la variación en los costos con el pasar del tiempo hacen que los valores cambien.

5.3. Análisis del costo – beneficio

El objetivo de este análisis es determinar la viabilidad del proyecto de investigación en consideración al costo que implica.

Debido a que el proyecto es de carácter técnico se requiere la utilización de equipos precisos y de alta tecnología, que sean precisos en sus resultados; se deben relacionar los beneficios otorgados, con el coste generado por el mismo.

La visión en el campo académico actualmente está dirigida a la investigación e innovación de conocimientos, por ello proyectos que generen nueva información son de gran impacto; en este caso el documento elaborado establece una nueva base de diagnóstico técnico automotriz en el campo de los motores de combustión interna con sistemas de inyección de riel común diesel CRDI, involucrando nuevas tecnologías y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases contaminantes al ambiente; por lo que los gastos resultan razonables.

5.4. Cronograma

Se detalla las actividades realizadas durante el desarrollo de la investigación hasta su culminación.

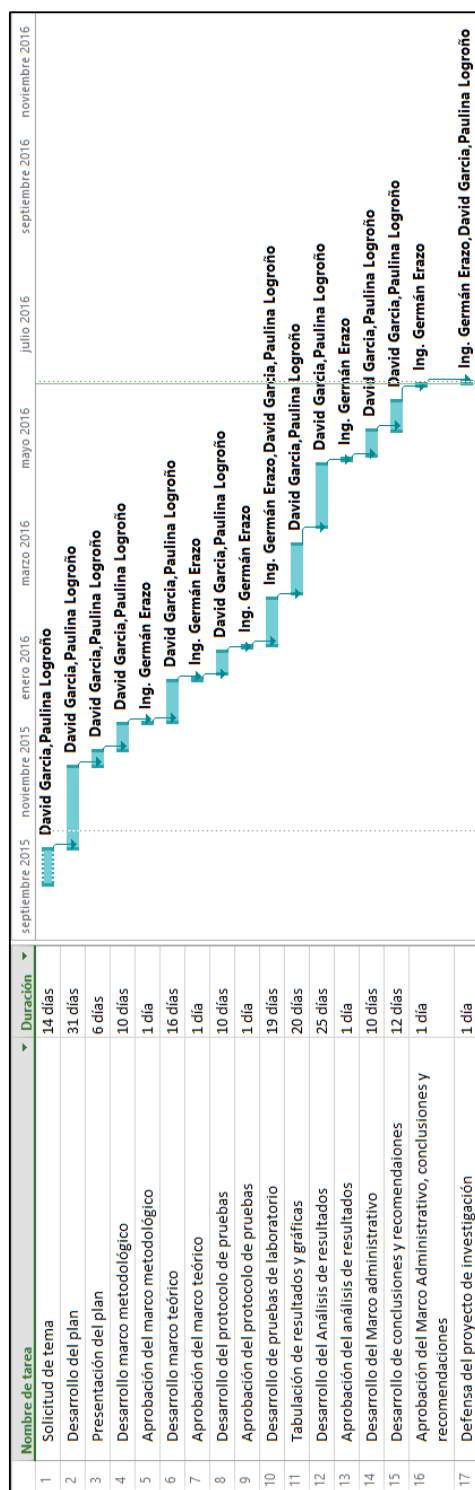


Figura 193 Cronograma de actividades

CONCLUSIONES

Al concluir la investigación del Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz se espera que el documento técnico de alta rigurosidad académica obtenido sirva como referencia de consulta para profesionales del área:

- Cuando se generan códigos de fallas DTC en el sistema de inyección de riel común diesel CRDI de la camioneta Mazda BT-50, existe incidencia directa en la duración de los tiempos de inyección y niveles de opacidad.
- Las fuentes bibliográficas específicas y certificadas sobre sistemas de inyección de riel común de diesel CRDI son de acceso limitado.
- El protocolo de pruebas ejecutado se basó en el procedimiento detallado en la norma NTE INEN 2202:2013 que establece el método de aceleración libre para la determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores diesel; considerando aspectos como: inspección y preparación previa del vehículo y condiciones ambientales para la prueba.
- La tabulación de datos y valores permite considerar únicamente los parámetros relevantes obtenidos en las pruebas de laboratorio para organizar la información que será objeto de análisis.
- La normativa que controla los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel en Ecuador, actualmente es de carácter voluntario, debido a que está basada en las normas EURO II y EPA 94, a pesar de que estas han sido actualizadas a nuevas versiones (EURO VI y EPA 2010); lo que hace flexible el cumplimiento de los límites impuestos en la norma vigente en el país.

- En condiciones normales de funcionamiento del motor en frío y caliente, los valores de opacidad son 16,9% y 19,72%, respectivamente; mismos que no superan el máximo permitido por la norma NTE INEN 2207:2202.
- De las pruebas realizadas en los sensores, el mayor nivel de opacidad se generó al presentarse DTC alto en el sensor de presión de aire de admisión MAP, dado que la ECU detecta una presión del aire de admisión fuera de rango, limitando el régimen de giro del motor a 2300rpm aproximadamente, lo que impide que el turbo-compresor alcance la fase de sobrealimentación; resultando para las mediciones en frío 32,91% y en caliente 28,63%.
- El valor más bajo de opacidad en las pruebas de los sensores se genera al presentarse DTC en el sensor de posición del pedal del acelerador APP, en frío con DTC bajo resultando 12,36% y en caliente con DTC alto el 8,54%; debido a que no se genera información sobre la posición del acelerador pero sí se activa el switch del acelerador, por lo que la ECU limita la velocidad del motor a 3500rpm aproximadamente.
- El DTC en actuadores que genera mayor contaminación es la desconexión de la válvula de control de turbo de geometría variable VBC, pues en frío produce 32,31% de opacidad y en caliente 31,67%, la ECU detecta que no existe corriente en este actuador impidiendo que se produzca la sobrealimentación mediante la limitación de la velocidad de giro del motor a 2300rpm aproximadamente.
- Las combinaciones de fallas producen los mayores niveles de opacidad obtenidos en las pruebas, siendo el peor caso al combinar el DTC de la válvula de control de turbo de geometría variable VBC y de uno de los inyectores, ya que se generó en frío 41,47% y en caliente 42,30% de opacidad; esta combinación fuerza el funcionamiento del motor al limitar el régimen de giro del mismo para impedir que se accione el turbo en la

fase de sobrealimentación y al requerir más trabajo en los cilindros que funcionan correctamente.

- La variación en los niveles de opacidad no presenta relación directa con la duración de los tiempos de inyección, ya que la ECU considera diversos parámetros para proporcionar una mezcla estequiométrica equilibrada, principalmente las condiciones del aire de admisión.
- Al existir DTC alto en el sensor ECT la duración de la inyección principal es mayor tanto en frío como en caliente, ya que en ambos casos la ECU procura elevar la temperatura del motor sensada de -40°C a la establecida en condiciones normales de funcionamiento, teniendo un incremento de 9,35% y 11,23% respectivamente.
- El DTC de cualquiera de los inyectores en las pruebas en frío genera en promedio un incremento de 4,11% en el tiempo de inyección de combustible en el cilindro analizado, pues el trabajo que resta esta falla debe ser compensado por los tres cilindros restantes para permitir que el motor siga funcionando.
- La mayor duración de la inyección de combustible se presenta en las pruebas en frío con un DTC bajo del sensor MAF y en caliente con el DTC alto del sensor ECT, en los dos casos dando un tiempo de $0,287\text{mS}$.

RECOMENDACIONES

Al finalizar la investigación se debe tener cuenta lo siguiente:

- Considerar los objetivos que se establecieron al inicio del proyecto, con la finalidad de trabajar para el alcanzar cumplimiento de todos ellos al concluir la investigación.
- Los equipos que se van a utilizar en las pruebas deben estar calibrados y puestos a punto, para así obtener datos reales y confiables, que respalden la validez de la investigación.
- Para generar DTCs es indispensable determinar el diagrama electrónico de los sensores y actuadores del sistema de inyección de riel común diesel, así como el voltaje de funcionamiento en los cables de dichos componentes.
- Utilizar las puntas de medición del osciloscopio que mejor se adapten a las conexiones de los elementos a analizar, para que los resultados no se vean afectados por posibles ruidos.
- Conocer los voltajes de funcionamiento de cada uno de los cables de los sensores, para manejarlos adecuadamente al momento de realizar las pruebas y así evitar daños permanentes en los elementos mismos, o en el módulo de control.
- Tener la información obtenida en cada prueba de forma organizada, ya que al ser un número considerable de pruebas se puede confundir la información y esto alteraría los resultados analizados.

- Indagar en bases de datos científicas o de carácter académico como JSTORE o Google Académico, pues la información ahí considerada es verídica y real, con lo que le dará mayor relevancia a la investigación.
- Utilizar esta investigación como base para el desarrollo de un nuevo análisis investigativo, en el que, además de los tiempos de inyección y los niveles de opacidad, se considere el suministro de aire como parte importante de la mezcla de combustión; así se podrá determinar cuál es la influencia de dicha mezcla en la emisión de opacidad de gases de escape de motores diesel CRDI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón , C., & Jaramillo, J. (Noviembre de 2007). Guía para el diagnóstico del sistema de inyección CRDI Bosch. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Alonso, J. M. (2001). *SISTEMAS DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE EN LOS MOTORES DIESEL*. Madrid: Paraninfo.
- Arizaga Idrovo, F. I., & Torres Ortiz, P. F. (2014). Diseño de un simulador para diagnóstico de bombas CRDI e implementación en un banco de pruebas hartridge de bombas convencionales. CUENCA.
- Bosch, R. (2002). *Los sensores en el automóvil*. Postfach: Reverté.
- Bosch, R. (2002). *Regulación electrónica Diesel (EDC)*. Postfach: Reverté.
- Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección Diesel por acumulador Common Rail*. Plochingen: Reverté.
- Bosch, R. (2005). *Técnica de gases de escape para motores Diesel*. Plochingen: Reverté.
- Castillejo, A. (2014). *Sistemas de inyección en Motores Diesel*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- CISE Electronics Corp. (s.f.). *Diagnóstico con scanner - OBDII Genérico*. Miami.
- De Castro, M. (2002). *Gestión electrónica de la inyección diesel* . España: Ceac.
- De Castro, M. (2002). *Sistemas electrónicos de la inyección diesel: EPIC, Common Rail*. España: Ceac.
- Erazo, G. (2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñón en el motor Isuzu seri DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel*

en proporción para reducir la polución. Latacunga : Universidad Técnica de Cotopaxi.

- García Martínez, A. (2011). *Estudio de los efectos de la post inyección sobre el proceso de combustión y la formación de hollín en motores diesel.* Barcelona: Reverté.
- Gil, H. (2002). *Procesos de diagnosis en sistemas electrónicos de inyección diesel .* Barcelona: Ceac.
- Gimeno, J. (2011). *Estudio de la inyección diésel mediante la medida del flujo de cantidad de movimiento de chorro.* Barcelona: Reverté.
- Hernández, L. (2006). *Predicción y optimización de emisores y consumo mediante redes Neuronales en Motores Diesel.* Barcelona: Reverté S.A.
- Marcia Martínez, V., Peidro Barachina, J., Tormos Martínez, B., & Olmeda Gonzáles, P. (2007). *MOTORES, Tomo 2, Mantenimiento de Motores Diesel.* Valencia: Alfaomega.
- Ocaña, A. (2001). *Tratado del Automóvil La Técnica en los Siglos XX-XXI.* DOSSAT 2000.
- Ruiz, R. (2001). *El método científico y sus etapas.* México .
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas.* México.

NETGRAFÍA

- Cise Electronics. (24 de Octubre de 2010). *Acerca de los Códigos de falla o DTC.* Obtenido de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/228-acerca-de-los-c%C3%B3digos-de-falla-o-dtc.html> (Recuperado 17-03-2016)
- Cise Electronics. (9 de Febrero de 2012). *Terminología del sistema OBDII.* Obtenido de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/513-terminolog%C3%ADa-del-sistema-obdii.html> (Recuperado 22-03-2016)

NORMAS

- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2002). NTE INEN 2207:2002. *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL.* Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2013). NTE INEN 2202:2013. *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTÁTICA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE.* Ecuador.

MANUALES

- Mazda Motor Europe. (2006). Training Manual Mazda BT-50.

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA** y la señorita **PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS**.

Ing. Germán Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambardo

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Juan Carlos Díaz Álvarez

SECRETARIO ACADÉMICO