



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: INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN Y
CALIBRACIÓN DE INYECTORES HEUI PARA DETERMINAR EL
COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO**

AUTORES:

GUAMUSHIG LAICA, JHILSON PAUL

MORENO MUSO, LUIS SANTIAGO

DIRECTOR:

ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN

LATACUNGA

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES HEUI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO”*** fue realizado por los señores ***Guamushig Laica Jhilson Paul y Moreno Muso Luis Santiago*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de diciembre del 2019

Firma:

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

C. C.: 0501432637



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Guamushig Laica, Jhilson Paul y Moreno Muso, Luis Santiago**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES HEUI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Latacunga, 19 de diciembre del 2019

Firma:

Guamushig Laica, Jhilson Paul

C.C.: 0550108039

Firma:

Moreno Muso, Luis Santiago

C.C.: 0503640831



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Guamushig Laica, Jhilson Paul y Moreno Muso, Luis Santiago**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES HEUI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de diciembre del 2019

Firma:

Guamushig Laica, Jhilson Paul

C.C.: 0550108039

Firma:

Moreno Muso, Luis Santiago

C.C.: 0503640831

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Fernando y Mercedes, quienes con sacrificio y dedicación han logrado apoyar y guiar mi camino; a Rafael y Graciela, quienes han apoyado durante el transcurso de mi carrera.

A mis abuelitos, tíos y primos, quienes con palabras llenas de sabiduría han aportado a fortalecer mi espíritu y carácter.

A mi hermano José Luis quien siempre será mi ejemplo a seguir y me ha apoyado en todo durante toda mi vida, a mi hermana Gisela Maribel con la que puedo contar siempre.

En especial a mi pequeño sobrino Nicolás Sebastián, con quien he compartido todo el tiempo del desarrollo de este trabajo.

Jhilson Paul

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios por brindarme sabiduría, fuerza y valentía para poder continuar adelante ante cualquier problema presente en la vida,

Lo dedico también a mi familia por estar presente en todo momento de mi vida estudiantil ayudándome y brindándome siempre su apoyo, en especial quiero dedicar este trabajo a mi querido padre César por estar pendiente de mi con sus consejos y sobre todo enseñarme la inquebrantable voluntad del trabajo, esfuerzo y dedicación para conseguir una meta ; a mi madre Nelly por su paciencia , su cariño y amor , por sus gratos e incansables consejos de vida que ha sabido hacerme un hombre de bien siempre diciéndome que todo esfuerzo y dedicación valdrá la pena; a mis hermanas Mercy y Fernanda quienes han sido un apoyo incondicional siempre buscando la forma de sacarme una sonrisa ante cualquier adversidad gracias hermanas por estar junto a mí .

De manera muy especial decido este trabajo a mi abuelita Obdulia quien ha sido como mi segunda madre ya que siempre ha estado pendiente de mi desde mi niñez hasta la actualidad, haciendo de mí una persona humilde y sencilla, nunca me ha dejado solo y siempre ha estado en los duros momentos de mi vida apoyándome y brindándome su apoyo, cariño y amor incondicional.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la vida por permitirme llegar a este punto, a mis padres Fernando y Mercedes por ser ejemplo que con trabajo y dedicación se pueden llegar a ser grandes personas.

Un agradecimiento especial al Sr. Rafael Guanoluisa, quien a deposita su confianza y me ha permitido desarrollar el valor de la responsabilidad durante toda mi carrera.

Agradecimiento especial al Ing. Germán Erazo, quien con su conocimiento y su sabiduría supo encaminar el desarrollo de la investigación y por estar siempre dispuesto a brindar su apoyo.

A los relampamigos, quienes la carrera nos hizo compañeros, pero la vida nos hizo amigos, con quienes compartimos agradables momentos dentro y fuera de las aulas y así juntos llegamos a cumplir esta meta.

A mis hermanos José Luis y Maribel que sin ellos mi vida no sería la misma, gracias por ser el éxito.

A mi pequeño sobrino Nicolás que cada mañana me inspira a ser mejor persona y ejemplo para su desarrollo.

Jhilson Paul

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mamita virgen por guiarme y bendecirme día a día con salud, vida y sobre todo brindarme sabiduría para poder cumplir esta meta tan anhelada

A mis padres Cesar y Nelly por sus incansables consejos, por ser mis guías e instrumentos a seguir y sobre todo ser cada uno mi pilar fundamental en cada paso que doy en mi vida tanto personal como profesional.

Agradezco al Ing. Germán Erazo por su importante apoyo en esta investigación por compartir sus conocimientos y estar siempre dispuesto a brindar una ayuda.

A todos los docentes quienes me han brindado sus conocimiento y experiencias en esta etapa de formación profesional recibida en la universidad ya que será de gran ayuda para mi vida profesional.

A mis amigos por estar presentes en esta etapa universitaria dentro y fuera de las aulas gracias por su apoyo, consejos, y sobre todo gratas experiencias que se recordaran a lo largo de mi vida.

Y finalmente agradezco a una persona que siempre estará en buenas y en las malas con su apoyo y cariño incondicional sacándome muchas alegrías e impulsándome a ser una mejor persona gracias Nataly.

Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO**CARÁTULA**

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxv
RESUMEN.....	xxvi
ABSTRACT	xxvii

CAPÍTULO I**MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1	Antecedentes investigativos.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Descripción resumida del proyecto	3
1.4	Justificación e importancia	4
1.5	Objetivos	5

1.5.1	Objetivo general.....	5
1.5.2	Objetivos específicos.....	5
1.6	Metas	6
1.7	Hipótesis	6
1.8	Variables de investigación	6
1.8.1	Variable independiente:	6
1.8.2	Variable dependiente:.....	7
1.9	Metodología de desarrollo del proyecto.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Introducción HEUI.....	12
2.2	Componentes del sistema de inyección HEUI	14
2.2.1	Bomba de aceite de alta presión.....	14
2.2.2	Válvula de regulación de la presión de inyección (IPR)	15
2.2.3	Bomba de transferencia de combustible	15
2.2.4	Módulo de control electrónico	16
2.2.5	Sensores.....	16
2.2.6	Actuadores.....	17
2.3	Inyector HEUI.....	17
2.4	Tipos de inyectores HEUI	18
2.4.1	HEUI tipo A	18
2.4.2	HEUI 3116 – 3126A	18

2.4.3	HEUI tipo B	19
2.5	Operación del inyector HEUI.....	19
2.5.1	Partes de inyector HEUI 3126.....	20
2.6	Fases de inyección del inyector HEUI	20
2.7	Aplicaciones del sistema de inyección HEUI	25
2.8	Revisión y ajuste de sistemas de inyección.....	26
2.8.1	Mantenimiento y comprobación de inyectores	27
2.8.2	Mantenimiento y comprobación de toberas	27
2.8.3	Tarado.....	27
2.8.4	Estanqueidad del inyector.....	28
2.8.5	Control de pulverización y dirección de chorro	28
2.9	Pruebas de diagnóstico para detectar fugas del sistema.....	29
2.9.1	Medición del ciclo de trabajo del regulador de presión de control de inyección.29	
2.9.2	Presurizar el circuito de alta presión y verificar si hay fugas de aceite.	29

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN Y PRUEBAS

3.1	Equipos y herramienta de calibración	30
3.1.1	Banco de comprobación de inyectores HEUI.....	30
3.1.2	Fuente de atracamiento automática CR-370	31
3.1.3	Megohmetro Supco M500.....	31
3.1.4	Base magnética	32
3.1.5	Reloj indicador de profundidad	33

3.1.6	Medidor de espesor digital	34
3.1.7	Herramientas HEUI 3126, C7, C9.....	35
3.1.8	Comprobador manual de tobera	36
3.1.9	Llave dinamométrica automática (torquimetro)	37
3.1.10	Osciloscopio Hantek 1008c.....	37
3.1.11	Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1	38
3.1.12	Pinza amperimétrica BRAIN BEE	40
3.1.13	Multímetro digital MT-5211	40
3.2	Procesos de armado y desarmado del inyector	41
3.2.1	Proceso de desarmado del inyector HEUI 3126	41
3.2.2	Despiece del conjunto bobina y valvula Poppet.....	43
3.2.3	Despiece del grupo tobera	44
3.2.4	Despiece pistón intensificador y plunger.....	44
3.2.5	Despiece inyector HEUI 3126	45
3.4	Protocolo de calibración del inyector HEUI 3126	54
3.4.1	Parámetro del inyector HEUI 3126	54
3.4.2	Protocolo de calibración de la válvula Poppet.....	54
3.4.3	Protocolo de calibración de distancia entre placas (armadura-bobina).....	58
3.5	Protocolo de pruebas del inyector HEUI 3126	60
3.5.1	Pruebas mecánicas	60
3.5.2	Prueba de ángulos de inyección	60
3.5.3	Pruebas eléctricas	62

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Despiece y nomenclatura del inyector HEUI 3126.....	67
4.2	Comprobación y análisis del comportamiento mecánico del inyector HEUI.....	69
4.2.1	Prueba estanqueidad.....	69
4.2.2	Prueba de pulverización.....	69
4.2.3	Análisis de los ángulos de inyección tobera nueva 250 bares.....	69
4.2.4	Análisis de los ángulos de inyección tobera nueva 200 bar.....	71
4.2.5	Calibraciones del inyector HEUI para el banco DONGTAI CR-816.....	72
4.2.6	Prueba a ralentí.....	72
4.2.7	Prueba a media carga.....	75
4.2.8	Prueba a alta carga.....	78
4.2.9	Prueba en clear.....	81
4.3	Análisis mecánico en el banco de comprobación de inyectores HEUI-ESPE ...	84
4.3.1	Calibración del inyector para el banco de comprobación HEUI-ESPE.....	84
4.3.2	Prueba a baja carga (ralentí).....	85
4.3.3	Prueba media carga.....	87
4.3.4	Prueba alta carga.....	89
4.3.5	Prueba de limpieza.....	91
4.4	Validación de calibración.....	93
4.5	Comprobación y análisis del comportamiento eléctrico del inyector HEUI.....	94
4.5.1	Voltaje y corriente de activación (atrancamiento).....	94
4.6	Oscilogramas de voltaje y de corriente del inyector HEUI.....	97

4.6.1	Elementos del oscilograma de voltaje y corriente	97
4.6.2	Valores máximo y mínimo en el oscilograma de voltaje.....	99
4.6.3	Valores de voltaje máximo y mínimo en el oscilograma de corriente.....	100
4.6.4	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 1 a 2000psi.....	100
4.6.5	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 1 a 1500 psi.....	102
4.6.6	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 1 a 1160 psi.....	105
4.6.7	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 2 a 2000psi.....	107
4.6.8	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 2 a 1500 psi.....	109
4.6.9	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 2 a 1160 psi.....	112
4.6.10	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 3 a 2000psi.....	114
4.6.11	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 3 a 1500 psi.....	116
4.6.12	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 3 a 1160 psi.....	119
4.6.13	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 4 a 2000psi.....	121
4.6.14	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 4 a 1500 psi.....	123
4.6.15	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 4 a 1160 psi.....	126
4.6.16	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 5 a 2000psi.....	128
4.6.17	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 5 a 1500 psi.....	130
4.6.18	Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 5 a 1160 psi.....	133
4.7	Diagnóstico por imagen.	135
4.7.1	Visualización de patrones de imagen por cada calibración	136
4.7.2	Comparación entre patrones de imagen.....	138

CAPÍTULO V**MARCO ADMINISTRATIVO**

5.1	Recursos.....	141
5.1.1	Recursos humanos	141
5.1.2	Recursos tecnológicos.....	141
5.1.3	Recursos materiales	142
5.2	Presupuesto.....	142
5.2.1	Costos de equipos y herramientas.....	142
5.2.2	Costo de adecuación del banco de pruebas HEUI	143
5.2.3	Costo de calibración y pruebas de inyectores HEUI	144
	CONCLUSIONES.....	146
	RECOMENDACIONES	149
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	ANEXOS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	6
Tabla 2. <i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	7
Tabla 3. <i>Metodología de investigación</i>	10
Tabla 4. <i>Especificaciones del banco de pruebas CR816</i>	30
Tabla 5. <i>Especificaciones del Megohmetro Supco M500</i>	32
Tabla 6. <i>Especificaciones de la base magnética</i>	33
Tabla 7. <i>Especificaciones reloj indicador de profundidad</i>	34
Tabla 8. <i>Especificaciones medidor de espesor digital</i>	34
Tabla 9. <i>Adaptadores para inyectores HEUI</i>	35
Tabla 10. <i>Especificaciones osciloscopio Hantek 1008c</i>	38
Tabla 11. <i>Especificaciones técnicas FADOS9F1</i>	39
Tabla 12. <i>Especificaciones pinza amperimétrica Brain Bee</i>	40
Tabla 13. <i>Especificaciones multímetro MT-5211</i>	41
Tabla 14. <i>Proceso de desarmado del inyector HEUI</i>	42
Tabla 15. <i>Proceso de armado del inyector HEUI</i>	46
Tabla 16. <i>Protocolo de reparación del inyector HEUI</i>	52
Tabla 17. <i>Especificaciones del inyector HEUI</i>	54
Tabla 18. <i>Parámetros de calibración de la válvula Poppet</i>	54
Tabla 19. <i>Protocolo de calibración de la válvula Poppet</i>	54
Tabla 20. <i>Parámetros de calibración de distancia entre placas</i>	58
Tabla 21. <i>Protocolo de calibración de distancia entre placas (armadura -bobina)</i>	58

Tabla 22. <i>Procedimiento de utilización de la Zemtec CR-370.....</i>	63
Tabla 23. <i>Procedimiento para la obtención del oscilograma de corriente</i>	64
Tabla 24. <i>Nomenclatura del inyector HEUI 3126</i>	68
Tabla 25. <i>Datos de pruebas de los ángulos de inyección</i>	70
Tabla 26. <i>Ángulos de disparo y dispersión de los orificios del inyector a 250 bares.....</i>	70
Tabla 27. <i>Ángulos de conos de inyección entre orificios opuestos</i>	70
Tabla 28. <i>Datos de pruebas de los ángulos de inyección</i>	71
Tabla 29. <i>Ángulos de disparo y dispersión de los orificios del inyector a 250 bar.....</i>	71
Tabla 30. <i>Ángulos de conos de inyección entre orificios opuestos</i>	72
Tabla 31. <i>Calibración del inyector HEUI para el banco DONGTAI CR-816</i>	72
Tabla 32. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 80 bares con una variación de calibración del inyector</i>	73
Tabla 33. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 150 bares con una variación de calibración del inyector</i>	76
Tabla 34. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 200 bares con una variación de calibración del inyector</i>	79
Tabla 35. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 200 bares con una variación de calibración del inyector</i>	82
Tabla 36. <i>Calibración del inyector HEUI para el banco de comprobación HEUI-ESPE</i>	84
Tabla 37. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector</i>	85
Tabla 38. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector</i>	87

Tabla 39. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector</i>	89
Tabla 40. <i>Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector</i>	91
Tabla 41. <i>Valoración de calibración con criterios cuantitativos</i>	94
Tabla 42. <i>Voltaje y corriente de activación de inyector HEUI 3126 con variación en la calibración del inyector</i>	95
Tabla 43. <i>Valores máximo y mínimo en el oscilograma de voltaje</i>	99
Tabla 44. <i>Valores máximo y mínimo en el oscilograma de corriente</i>	100
Tabla 45. <i>Calibraciones del inyector HEUI 3126 para el diagnóstico por imagen</i>	135
Tabla 46. <i>Recursos humanos</i>	141
Tabla 47. <i>Recurso tecnológicos</i>	141
Tabla 48. <i>Recursos materiales</i>	142
Tabla 49. <i>Costo de equipos y herramientas</i>	143
Tabla 50. <i>Costo de adecuación del banco de prueba HEUI</i>	143
Tabla 51. <i>Costo de calibración y pruebas de inyectores HEUI</i>	144
Tabla 52. <i>Costo total de la investigación</i>	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.....	2
Figura 2. Control de presión de inyección.....	13
Figura 3. Presión de inyección.....	13
Figura 4. Esquema de hidráulico de alta y baja presión del sistema inyección HEUI ...	14
Figura 5. Bomba de aceite de alta presión	15
Figura 6. Válvula de regulación de presión de inyección (IPR).....	15
Figura 7. Bomba de transferencia de combustible.....	15
Figura 8. Módulo de control electrónico ECM.....	16
Figura 9. Sensores y actuadores de un sistema HEUI	16
Figura 10. Inyector HEUI	18
Figura 11. Inyector HEUI tipo A	18
Figura 12. Inyector HEUI 3116-3126A.....	19
Figura 13. Inyector HEUI tipo B	19
Figura 14. Partes del inyector HEUI 3126.....	20
Figura 15. Preinyección	21
Figura 16. Inyección piloto	22
Figura 17. Retraso	23
Figura 18. Inyección Principal.....	24
Figura 19. Final de la inyección	25
Figura 20. Motor DT 466E	26
Figura 21. Torque - Potencia del motor DT466E	26
Figura 22. Limpieza del inyector de orificios.....	27

Figura 23. Ajuste de presión de inyección	28
Figura 24. Chorros de inyección	28
Figura 25. Verificación de las juntas tóricas.....	29
Figura 26. Banco HEUI Dongtai CR-816	30
Figura 27. Fuente de atracamiento automática CR-370	31
Figura 28. Megohmetro Supco M500.....	32
Figura 29. Base magnética	33
Figura 30. Reloj palpador digital	33
Figura 31. Medidor de espesor digital.....	34
Figura 32. Herramientas para inyectores HEUI	35
Figura 33. Comprobador manual de tobera	36
Figura 34. Llave dinamométrica automática	37
Figura 35. Osciloscopio Hantek 1008c	38
Figura 36. Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1	38
Figura 37. Pinza amperimétrica Brain Bee	40
Figura 38. Multímetro Digital Mt-5211.....	41
Figura 39. Despiece del conjunto bobina y válvula Poppet.....	43
Figura 40. Despiece del grupo Tobera.....	44
Figura 41. Despiece del pistón intensificador y plunger.....	45
Figura 42. Despiece inyector HEUI 3126.....	45
Figura 43. Ángulos de inyección para HEUI 3126	61
Figura 44. Despiece inyector HEUI 3126.....	68
Figura 45. Patrón de pulverización de tobera 250 bares	69

Figura 46. Patrón de pulverización de tobera 200 bar	71
Figura 47. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a baja carga (ralentí), con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina	74
Figura 48. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a media carga, con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina	77
Figura 49. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a alta carga, con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina.....	80
Figura 50. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a clear, con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina.....	83
Figura 51. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección	86
Figura 52. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1500 psi con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección	88
Figura 53. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 2000 psi con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección	90

Figura 54. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1500 psi (limpieza) con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección.....	92
Figura 55. Pruebas de atracamiento e inductancia sometidas al inyector HEUI 3126 con variación de calibración del inyector, apreciando voltaje, corriente e inductancia de activación.....	96
Figura 56. Elementos del oscilograma de voltaje del inyector HEUI 3126.....	98
Figura 57. Elementos del oscilograma de corriente del inyector HEUI 3126	99
Figura 58. Oscilograma de voltaje con calibración 1 y presión de 2000 psi.....	100
Figura 59. Oscilograma de corriente con calibración 1 y presión de 2000 psi	101
Figura 60. Oscilogramas de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 y presión de 2000 psi	102
Figura 61. Oscilograma de voltaje con calibración 1 y presión de 1500 psi.....	103
Figura 62. Oscilograma de corriente con calibración 1 y presión de 1500 psi	104
Figura 63. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 a presión de 1500 psi.....	104
Figura 64. Oscilograma de voltaje con calibración 1 a presión de 1160 psi	105
Figura 65. Oscilograma de corriente con calibración 1 a presión de 1160	106
Figura 66. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 a presión de 1160.....	107
Figura 67. Oscilograma de voltaje con calibración 2 a presión de 2000 psi	108
Figura 68. Oscilograma de corriente con calibración 2 a presión de 2000 psi.....	108

Figura 69. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 2 a presión de 2000 psi.....	109
Figura 70. Oscilograma de voltaje con calibración 2 a presión de 1500 psi	110
Figura 71. Oscilograma de corriente con calibración 2 a presión de 1500 psi.....	111
Figura 72. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 2 presión de 1500 psi.....	111
Figura 73. Oscilograma de voltaje con calibración 2 a presión de 1160 psi	112
Figura 74. Oscilograma de corriente con calibración 2 a presión de 1160 psi.....	113
Figura 75. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 a presión de 1160 psi.....	114
Figura 76. Oscilograma de voltaje con calibración 3 a presión de 2000 psi	115
Figura 77. Oscilograma de corriente con calibración 3 a presión de 2000 psi.....	115
Figura 78. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 3 a presión de 2000 psi.....	116
Figura 79. Oscilograma de voltaje con calibración 3 a presión de 1500 psi	117
Figura 80. Oscilograma de corriente con calibración 3 a presión de 1500 psi.....	118
Figura 81. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 3 a presión de 1500 psi.....	118
Figura 82. Oscilograma de voltaje con calibración 3 a presión de 1160 psi	119
Figura 83. Oscilograma de corriente con calibración 3 a presión de 1160 psi.....	120
Figura 84. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 3 a presión de 1160 psi.....	121
Figura 85. Oscilograma de voltaje con calibración 4 a presión de 2000 psi	122

Figura 86. Oscilograma de corriente con calibración 4 a presión de 2000 psi.....	122
Figura 87. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 4 a presión de 2000 psi.....	123
Figura 88. Oscilograma de voltaje con calibración 4 a presión de 1500 psi	124
Figura 89. Oscilograma de corriente con calibración 4 a presión de 1500 psi.....	125
Figura 90. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 4 a presión de 1500 psi.....	125
Figura 91. Oscilograma de voltaje con calibración 4 a presión de 1160 psi	126
Figura 92. Oscilograma de corriente con calibración 4 a presión de 1160 psi.....	127
Figura 93. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 4 a presión de 1160 psi.....	128
Figura 94. Oscilograma de voltaje con calibración 5 a 2000 psi	129
Figura 95. Oscilograma de corriente con calibración 5 a presión de 2000 psi.....	129
Figura 96. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 5 a presión de 2000 psi.....	130
Figura 97. Oscilograma de voltaje con calibración 5 a presión de 1500 psi	131
Figura 98. Oscilograma de corriente con calibración 5 a presión de 1500 psi.....	132
Figura 99. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 5 a presión de 1500 psi.....	132
Figura 100. Oscilograma de voltaje con calibración 5 a presión de 1160 psi	133
Figura 101. Oscilograma de corriente con calibración 5 a presión de 1160 psi.....	134
Figura 102. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 5 a presión de 1160 psi	135

Figura 103. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 1 (estándar)...	136
Figura 104. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 2	137
Figura 105. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 3	137
Figura 106. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 3	138
Figura 107. Comparación de los patrones de imagen de las calibraciones 1 y 2	139
Figura 108. Comparación de los patrones de imagen de las calibraciones 1 y 3	139
Figura 109. Comparación de los patrones de imagen de las calibraciones 1 y 4	140

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Ángulo de disparo	61
<i>Ecuación 2.</i> Ángulo de dispersión	61
<i>Ecuación 3.</i> Ángulo de cono de inyección	62

RESUMEN

El desarrollo de nuevas tecnologías en la industria automotriz, ha permitido dar un impulso notable a los sistemas de inyección. La tecnología HEUI es un sistema de las más grandes innovaciones en los últimos tiempos implementada en los motores diésel. La investigación se desarrolla en los inyectores HEUI, con la finalidad de determinar su comportamiento mecánico y eléctrico en base al estudio de protocolos de reparación y calibración. Se utilizan diversos equipos y herramientas como: el banco de comprobación de inyectores Dongtai CR-816, osciloscopio Hantek 1008c, pinza amperimétrica BrainBee, multímetro digital MT-5211, fuente de atracamiento Zemtec CR-370, Megohmetro M500, detector de fallas FADOS9F1, y herramientas especiales para inyectores HEUI 3126. Que a través del uso del protocolo de pruebas mecánicas y eléctricas de los inyectores, al someterlos a diferentes calibraciones y presiones de operación, permitieron realizar el análisis de la variación existente de entrega de caudal en las pruebas mecánicas y valores de inductancia, resistencia y atracamiento de la bobina, así como la obtención de oscilogramas de voltaje y corriente los cuales muestran el comportamiento del inyector en las pruebas eléctricas y el diagnóstico por imagen; todo esto encaminado a obtener el funcionamiento adecuado de acuerdo a especificaciones del inyector HEUI.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECTORES HEUI**
- **SISTEMAS DE INYECCIÓN**
- **AUTOMÓVILES - DIAGNÓSTICO POR IMAGEN**

ABSTRACT

The development of new technologies in the automotive industry, has allowed to give an important boost to the injection systems. HEUI technology is a system of the most major innovations in recent times implemented in diesel engines. The research has been carried out on the HEUI injectors, with the purpose of determining their mechanical behavior and electrical systems on the basis of the study of protocols of repair and calibration. Various equipment and tools are used such as: Dongtai CR-816 injector test bench, Hantek 1008c oscilloscope, BrainBee clamp meter, MT-5211 digital multimeter, Zemtec CR-370 docking source, Megohmmeter M500, fault detector FADOS9F1, and special tools for HEUI 3126 injectors that through the use of the test protocol mechanical and electrical systems of the injectors which to be submitted to different calibrations and operation pressures, allowed to make the analysis of the existing variation of delivery of flow at the mechanical tests and values of inductance, resistance and berthing of the coil as well as obtaining oscillograms of voltage and current which show the behavior of the injector in the electrical tests and diagnostic imaging; All this is aimed at obtaining the proper functioning according to specifications of the HEUI injector.

KEY WORDS:

- **HEUI INJECTORS**
- **INJECTION SYSTEMS**
- **AUTOMOBILES - DIAGNOSTIC IMAGING**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes investigativos

El desarrollo de nuevas tecnologías en la industria automotriz, ha permitido dar un impulso notable a los sistemas de inyección que permiten aprovechar de mejor manera los combustibles fósiles y disminuir las emisiones. En este sentido, (Bennett, 2014) dice que el desarrollo del sistema HEUI (inyector unitario controlado electrónicamente y accionado hidráulicamente), es un sistema de las más grandes innovaciones en los últimos tiempos en tecnología implementada en los motores diésel. El sistema HEUI tiene muchas ventajas con referente a los sistemas de inyección mecánicos y al de inyectores electrónicos comúnmente utilizados, presenta nuevos patrones en control de emisiones contaminantes y en eficiencia de combustible.

Los procesos de diagnóstico de los inyectores tipo HEUI en el entorno es muy limitado y mucho menos lo es los procesos de calibración, en este sentido el trabajo de (Alanuca & Sangucho, 2013) argumenta que la creación de nuevos procesos para el diagnóstico mediante la construcción de un simulador, permite ampliar las opciones del servicio y mantenimiento a los sistemas de alimentación de combustible diésel HEUI, que en nuestro país sólo lo realizan en los concesionarios autorizados, lo que origina que los costos del servicio sean elevados y ocasionan una pérdida de productividad de la herramienta de trabajo.

La electrónica aplicada en los sistemas de inyección diésel, conlleva una complejidad muy grande ya que necesita incrementar las características eléctricas como voltaje y corriente para a activación de los inyectores, es por esto que la calibración es

una parte fundamental es así que, (Tran, 2003) menciona: que el aumento de la temperatura de la bobina puede causar un cambio significativo en la corriente del solenoide. Esto puede afectar significativamente el período de medición del inyector y, en consecuencia, el retardo de inyección y la cantidad de inyección. Las posibles soluciones de este problema pueden incluir la aplicación de un solenoide de corriente o el tipo más rápido del dispositivo de accionamiento.

1.2 Planteamiento del problema

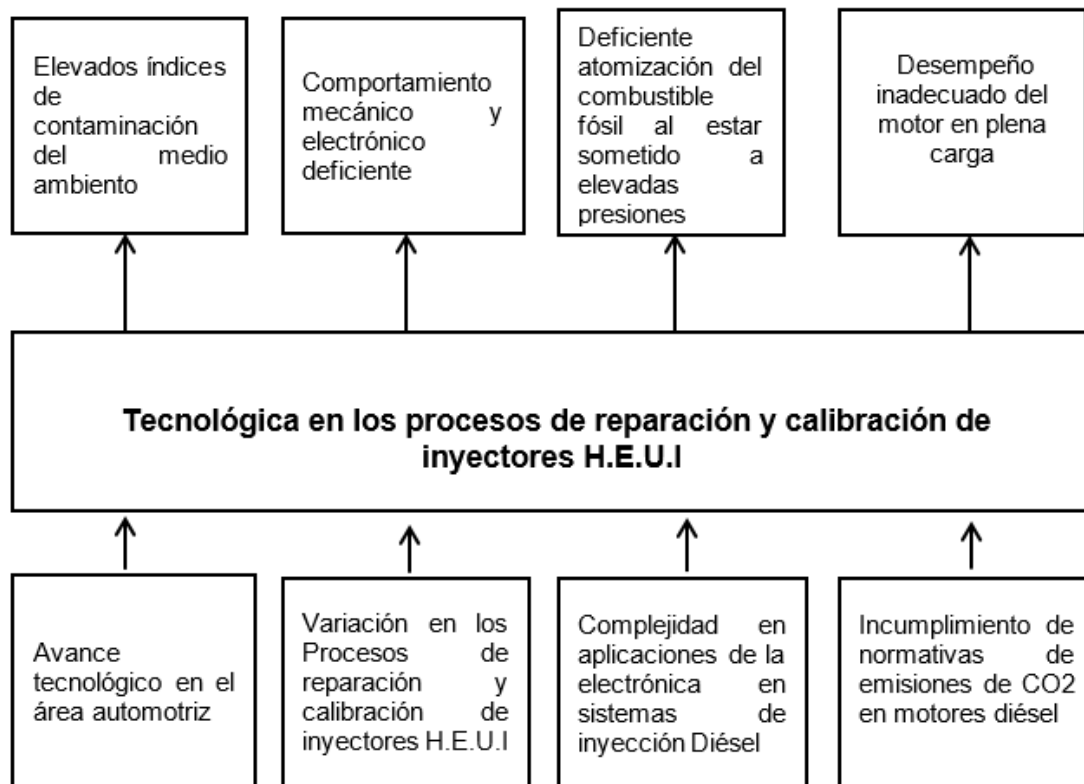


Figura 1. Árbol de problemas

La investigación se origina debido a la problemática por las innovaciones tecnológicas en los procesos de reparación y calibración de los inyectores HEUI.

El incumplimiento a los procesos de reparación y calibración de inyectores conlleva una deficiente innovación tecnológica provocando un incremento de contaminación en el

medio ambiente.

La complejidad en las aplicaciones de la electrónica en los sistemas de inyección Diésel debido a la innovación tecnológica de los procesos de calibración de inyectores provocan un desempeño inadecuado del motor Diésel en plena carga por un comportamiento mecánico y electrónico deficiente.

Considerando que existen altos niveles de gases contaminantes con partículas suspendidas producidos por los motores alimentados con Diésel es necesario que exista personal capacitado en los procesos de reparación y calibración de inyectores para que permitan que los motores estén en perfectas condiciones de funcionamiento, pudiendo trabajar con el cumplimiento de la normativa establecida reduciendo los índices de contaminación del ambiente.

1.3 Descripción resumida del proyecto

La “Investigación del proceso de reparación y calibración de inyectores HEUI para determinar el comportamiento mecánico y electrónico” consideró los siguientes aspectos:

Se recopiló información relevante tomando en cuenta su procedencia considerando únicamente fuentes confiables como son libros, tesis, artículos científicos, manuales, fichas técnicas, normas y publicaciones.

Se ejecutó las pruebas en el banco de comprobación de inyectores HEUI, para obtener datos del comportamiento del inyector en sus distintas fases de funcionamiento.

Se modeló las herramientas específicas para el proceso de desarmado, montaje y ajuste mecánico de los inyectores HEUI.

Se efectuó la selección de herramientas de ajuste, medición, calibración y puesta a punto de inyectores HEUI.

Se realizó los ensayos con calibraciones predeterminadas al inyector y permitió comprobar su comportamiento tanto mecánico como electrónico.

Se ejecutó las pruebas automatizadas de verificación de caudal, prueba de estanqueidad de alta y baja presión, prueba de alta carga, de media carga, ralentí y limpieza por medio del banco comprobador.

Se obtuvo datos y mediciones de oscilogramas del inyector considerando voltajes y corrientes.

Se realizó un análisis del comportamiento y desempeño del inyector por medio de los datos obtenidos con el respectivo diagnóstico por imagen.

1.4 Justificación e importancia

La implementación de sistemas de inyección y pulverización de combustible con accionamiento hidráulico controlado electrónicamente, fue creada con la finalidad de disminuir la contaminación del medio ambiente logrando una atomización adecuada del combustible al estar sometido a elevadas presiones generando de esta manera un comportamiento eficiente del motor y disminuyendo sus emisiones contaminantes constituyendo una herramienta importante para la persona en el medio ambiente.

La investigación del sistema de inyección HEUI permite determinar el respectivo funcionamiento del inyector, así como sus respectivas anomalías, surgiendo ahí la necesidad de implementar un protocolo de calibración de dicho inyector.

La investigación de los procesos de reparación y calibración de inyectores HEUI para el Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L se considera un aporte importante para la comunidad ya que los estudiantes y futuros profesionales tendrán la oportunidad de familiarizarse con los diferentes equipos e

instrumentos de calibración por medio de prácticas de laboratorio haciendo posible aumentar su conocimiento sobre dicho inyector y estar en la capacidad de poder repararlos y calibrarlos de manera correcta y eficaz.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Investigar los procesos de reparación y calibración de inyectores HEUI para determinar el comportamiento mecánico y electrónico.

1.5.2 Objetivos específicos

- Recopilar información teórica y técnica inherente a los procesos de reparación y calibración de inyectores HEUI 3126.
- Generar un sistema automatizado de medición y retorno de combustible para el banco de comprobación de inyectores diésel HEUI.
- Modelar las herramientas específicas para el proceso de desarmado, montaje y ajuste mecánico de los inyectores HEUI.
- Seleccionar herramientas de ajuste, medición, calibración y puesta a punto de inyector HEUI.
- Describir el proceso de reparación y calibración a través de la instrumentación adecuada para los inyectores HEUI 3126.
- Ejecutar pruebas de caudal de entrega de combustible a alta carga, media carga, ralentí y limpieza del inyector en un banco de comprobación de inyectores HEUI.
- Recopilar datos y mediciones de oscilogramas del inyector considerando voltajes, corrientes.

- Analizar el comportamiento y desempeño del inyector por medio de diagnóstico por imagen.

1.6 Metas

- Automatizar el sistema de drenaje y retorno del sistema de combustible del banco de comprobación HEUI.
- Disponer un sistema e instrumental de ajuste, medición, reparación y calibración de inyectores HEUI que permitan generar calibraciones con un 90 % de precisión.
- Dotar de información técnica confiable a personas involucradas en procesos de reparación y calibración de inyectores HEUI.

1.7 Hipótesis

¿Contar con un proceso de reparación y calibración de inyectores HEUI permitirá obtener un comportamiento óptimo mecánico y electrónico?

1.8 Variables de investigación

1.8.1 Variable independiente:

Procesos de reparación y calibración de los inyectores HEUI.

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Parámetros que determinan el funcionamiento del inyector HEUI, donde se muestra el conjunto de piezas que posee, para provocar un fino aerosol y una atomización homogénea del combustible	Académico tecnológico	Presión de operación	bar	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Tipo de tobera	Corta-larga	Observación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Presión de pulverización	bar	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Orificios del inyector	#	Observación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Angulo de cono de pulverización	Grados	Medición y experimentación	Protocolo de prueba

CONTINÚA 

Académico tecnológico	Recorrido de la válvula Poppet	mm	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
Académico tecnológico	Distancia entre placas	mm	Medición y experimentación	Protocolo de pruebas

1.8.2 Variable dependiente:

Comportamiento mecánico y electrónico del inyector HEUI.

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Parámetros mecánicos y eléctricos de los inyectores HEUI son datos imprescindibles que muestra el comportamiento del inyector en determinadas situaciones, los mismos que dependiendo de sus valores pueden llegar a alterar la conducta de los mismos en el motor Diésel. Estos parámetros están orientados a evaluar el estado de los inyectores cuando los mismos se encuentran trabajando bajo distintas condiciones	Académico tecnológico	Intensidad	A	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Periodo	ms	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Frecuencia	Hz	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Voltaje	v	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Caudal	ml/min	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Estanqueidad	bar	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Tiempo de prueba	min	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Resistencia	ohm	Medición y experimentación	Protocolo de prueba
	Académico tecnológico	Inductancia	H	Medición y experimentación	Protocolo de prueba

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

Para la investigación se utilizó diversos métodos y técnicas generales para las diversas ramas de la ciencia, para el proceso de investigación se utilizó procedimientos con mayor o menor énfasis, al momento de su desarrollo los métodos que se aplicaron

son la deducción, la síntesis, la inducción, el análisis, lo experimental, y la comparación de resultados para el desarrollo de la investigación. (Ruiz, 2007, pág. 13)

- **Método deductivo**

El análisis deductivo permitió establecer los principios y relaciones existentes partiendo de lo general a lo particular. De este modo permitió analizar los elementos internos mecánicos y electrónicos de los que está constituido en inyector HEUI y su funcionamiento. Con lo que respecta a los procesos de reparación y calibración permitió establecer el procedimiento adecuado.

- **Método inductivo**

El método permitió estimar los efectos del comportamiento mecánico y electrónico de acuerdo a las variaciones en los procesos de la calibración, con respecto a la presión de pulverización, recorrido de la válvula Poppet, distancia entre placas (armadura-bobina), este comportamiento se vio reflejado en: caudal de combustible y ángulos de pulverización, además los oscilogramas de los inyectores, y la variación de curvas de los componentes eléctricos del inyector.

- **Método experimental**

El método experimental se efectuó a razón de que se probaron distintos métodos de reparación y calibración de los inyectores de igual forma las variables se controlan de acuerdo a criterios propios, mediante pruebas y ensayos bajo condiciones controladas se obtuvieron datos del comportamiento del inyector HEUI tanto mecánico como electrónico que permitieron determinar su grado de calibración.

- **Método de la medición**

El método de medición permitió obtener datos de forma numérica que facilitaron el

análisis de la gestión mecánica y electrónica del inyector. Estos valores se lograron obtener con la ayuda de herramientas y banco de pruebas, en donde los resultados permitieron observar la existencia de variaciones posterior a cada prueba.

- **Método comparativo**

El método comparativo permitió la comparación entre los procesos de reparación y calibración de igual manera analizar las variaciones de parámetros en oscilogramas, ángulos de pulverización y las curvas en relación con los estándares del fabricante, de esta manera permitió interpretar el grado de calibración.

- **Método científico**

El método científico ayudó a tabular los datos en base a un razonamiento técnico y científico. A razón de esto facilitó la interpretación de datos como: la cantidad de combustible, ángulos de pulverización, valores de voltaje en intensidad que se originaron en los oscilogramas.

- **Método de matematización**

La matematización posibilitó, mediante procesos estadísticos definir el proceso y las condiciones en las cuales el inyector HEUI demuestre un mejor comportamiento tanto mecánico como electrónico, del mismo modo ayudó a comprobar la hipótesis al indicar un 90% de precisión en la calibración del inyector.

- **Método de síntesis**

La síntesis facilitó, posterior al análisis de la información generar conclusiones que respalden la experimentación y las mediciones realizadas durante los procesos de calibración.

Tabla 3
Metodología de investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método Deductivo	Permitió establecer los principios y relaciones existentes partiendo de lo general a lo particular como son: elementos internos del inyector HEUI y su funcionamiento.	Herramientas de armado y desarmado de inyectores HEUI DONGTAI-BPZ01	Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Método Inductivo	Ayudó a estimar los efectos que se obtuvieron en el comportamiento mecánico y electrónico de acuerdo a la variación en los procesos de la calibración, con respecto a la presión de pulverización, recorrido de la válvula Poppet, distancia entre placas (armadura-bobina) este comportamiento se vio reflejado en: caudal de combustible y ángulos de pulverización, además los oscilogramas de los inyectores, y la variación de curvas de los componentes electrónicos del inyector.	Herramientas de calibración NEOTECK-NTK021 Fuente de atracamiento automática ZEMTEC CR-370 Banco de pruebas DONGTAI CR816	Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Laboratorio Full Diésel Valencia
Método experimental	Se efectuó a razón de que se prueba distintos métodos de reparación y calibración de los inyectores de igual forma las variables se controlan de acuerdo a criterios propios, mediante pruebas y ensayos bajo condiciones controladas se obtendrán datos del comportamiento del inyector HEUI tanto mecánico como electrónico que permitan determinar su grado de calibración.	Banco de pruebas DONGTAI CR816 Osciloscopio Automotriz HANTEK 1008C Multímetro Automotriz Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1	Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Laboratorio Full Diésel Valencia
Método de medición	La medición permitió generar la información y obtener datos de forma numérica que facilitaron el análisis de la gestión mecánica y electrónica del inyector. Estos valores se logran obtener con la ayuda de herramientas y banco de pruebas, en donde los resultados permiten observar la existencia de variaciones posterior a cada prueba.	Herramientas de medición NEOTECK TL342 Osciloscopio Automotriz HANTEK 1008C Banco comprobador de toberas	Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Laboratorio de Autotrónica

CONTINÚA 

Método comparativo	Posibilitó la comparación entre los procesos de reparación y calibración de igual manera permitió analizar las variaciones de parámetros en oscilogramas, ángulos de pulverización y las curvas en relación con los estándares del fabricante, de esta manera interpretar el grado de calibración.	Herramientas de calibración NEOTECK-NTK021 Banco de pruebas HEUI-ESPE Osciloscopio Automotriz HANTEK 1008C	Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Laboratorio de Autotrónica
Método científico	Ayudó a tabular los datos en base a un razonamiento técnico y científico. A razón de esto facilitó la interpretación de datos como: la cantidad de combustible, ángulos de pulverización, valores de voltaje en intensidad que se originaron en los oscilogramas.	Computador Microsoft Office Word	Biblioteca U Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Laboratorio de Autotrónica
Método de matematización	La matematización posibilitó, mediante procesos estadísticos definir el proceso y las condiciones en las cuales el inyector HEUI demuestre un mejor comportamiento tanto mecánico como electrónico, del mismo modo permitió comprobar la hipótesis al indicar un 90% de precisión en la calibración del inyector.	Computador Programa Microsoft Office Excel	
Método de Síntesis	Facilitó posterior al análisis de la información generar conclusiones que respalden la experimentación y las mediciones realizadas durante los procesos de calibración.	Computador Microsoft Office Word	Biblioteca Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción HEUI

HEUI (Hidráulicamente Electrónicamente Inyector Unitario) es el sistema de combustible que representa una de las innovaciones más significantes en la tecnología del motor Diésel en décadas. HEUI supera muchas de las limitaciones de los sistemas mecánicos y de los inyectores electrónicos convencionales, y se apega a las nuevas normas para la eficacia de combustible, fiabilidad y control de emisiones. (Puente, 2018, pág. 2)

Se lo encuentra como el equipo en motores Caterpillar que se adaptan fácilmente en varios tipos de vehículos y máquinas, el sistema de HEUI es muy sofisticado usa la energía hidráulica en lugar de la energía mecánica para operar los inyectores de combustible. Trabajando en el conjuntamente con el motor, el ECM (Módulo de Control Electrónico) del sistema de HEUI proporciona mando sumamente preciso de la inyección de combustible midiéndolo y cronometrando su consumo, mientras se produce un funcionamiento del motor incomparable y con economía de combustible. (Puente, 2018, pág. 2)

(Caterpillar, 1999) El sistema HEUI está destinado a presurizar el combustible a altas presiones independientemente de la velocidad de giro del cigüeñal del motor, ya que por medio de su sistema de control electrónico controla el tiempo de inyección y la tasa exacta de combustible, mejorando de esta manera las emisiones del motor y brindando un rendimiento máximo del mismo.

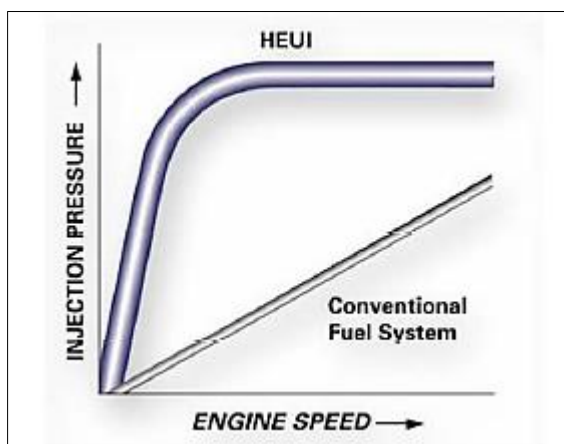


Figura 2. Control de presión de inyección
Fuente: (Caterpillar, 1997)

(Caterpillar, 1997) Al sistema HEUI se lo conoce por tener la característica de la capacidad de modelado de tasas llamada PRIME la cual consiste en la precisa medición de la cantidad de combustible a inyectar en la inyección piloto, esta característica divide el proceso de la inyección total en dos inyecciones separadas como le es la inyección piloto y la inyección principal.

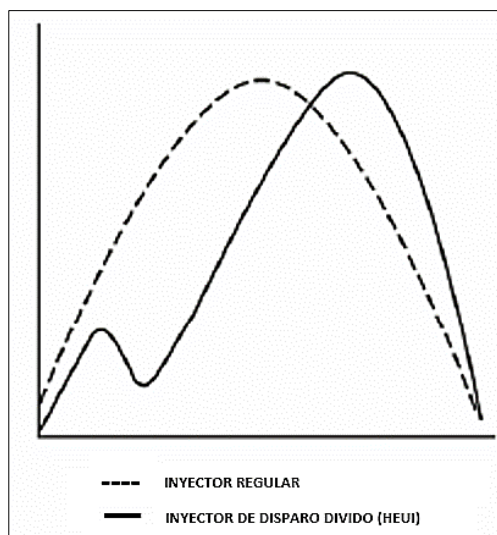


Figura 3. Presión de inyección
Fuente: (Caterpillar, 1997)

2.2 Componentes del sistema de inyección HEUI

(Ralbovsky, 1999) El sistema de inyección a alta presión consiste fundamentalmente en una bomba de alta presión, conductos de alta presión, rampas de alta presión, sensor de presión de control de inyección PCI, regulador de presión de control de inyección RCI, y una bomba de alimentación.

Este sistema de inyección HEUI trabaja con dos galerías una de alta presión (aceite) y otra de baja presión (combustible) ver figura 4, también cuenta con varios componentes mecánicos y electrónicos los cuales se detallan a continuación:

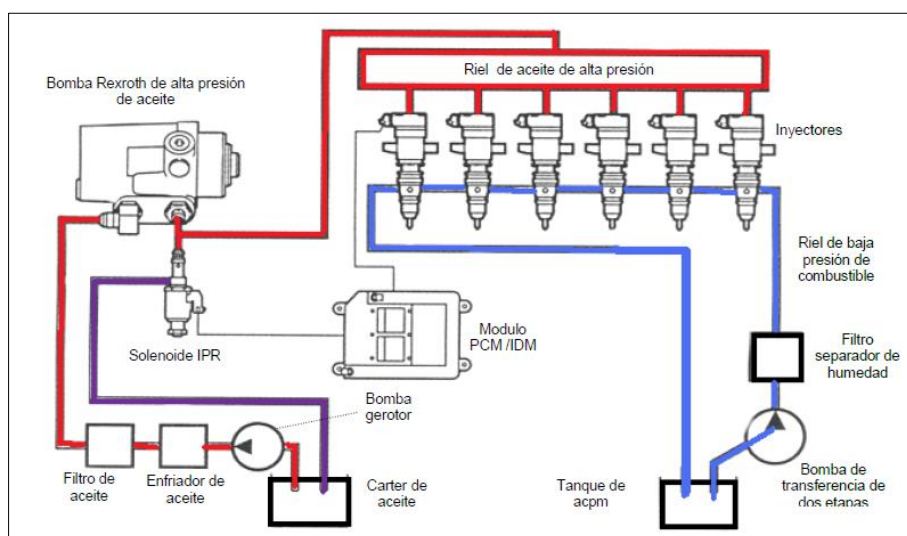


Figura 4. Esquema de hidrúlico de alta y baja presión del sistema inyección HEUI
Fuente: (Corporation, 2000)

2.2.1 Bomba de aceite de alta presión

Es la encargada de presurizar el aceite y trabaja de 500 a 3500 psi en la galería de alta presión. Y provoca un accionamiento físico, esta presión de aceite no es dependiente de las revoluciones del motor.



Figura 5. Bomba de aceite de alta presión
Fuente: (Power, 2017)

2.2.2 Válvula de regulación de la presión de inyección (IPR)

Es una válvula que regula la presión de salida de la bomba y devuelve el flujo de exceso al sumidero de aceite del motor.



Figura 6. Válvula de regulación de presión de inyección (IPR)
Fuente: (Power, 2017)

2.2.3 Bomba de transferencia de combustible

La bomba de combustible toma el combustible del tanque o depósito y envía diésel a los inyectores por la galería de baja presión a 65 o 70 psi, se encuentra colocada en la parte trasera de la bomba hidráulica.



Figura 7. Bomba de transferencia de combustible
Fuente: (Power, 2017)

2.2.4 Módulo de control electrónico

Es el encargado de controlar todas las funciones principales del motor, monitoreando todas las señales de entrada de los sensores.



Figura 8. Módulo de control electrónico ECM
Fuente: (Power, 2017)

2.2.5 Sensores

Son dispositivos electrónicos los cuales monitorean los parámetros de funcionamiento del motor tales como temperatura, presión, velocidad, y suministran esta información al módulo de control por medio de señales eléctricas.

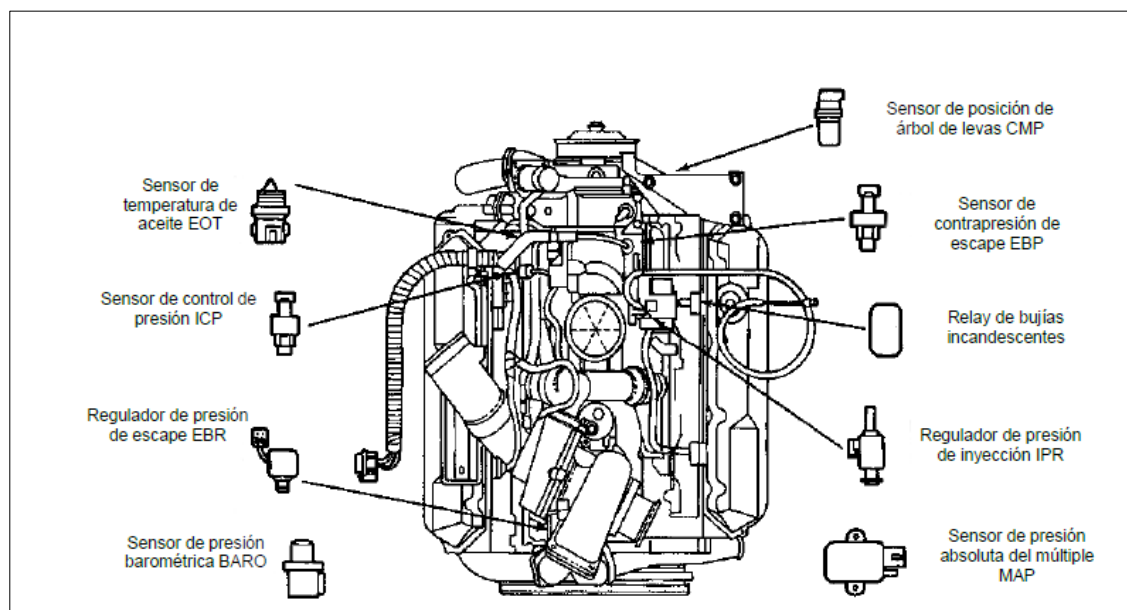


Figura 9. Sensores y actuadores de un sistema HEUI
Fuente: (Bernal Villamizar, 2016)

2.2.6 Actuadores

(Huamancayo , 2013) Son dispositivos eléctricos los cuales toman las señales eléctricas enviadas por el módulo de control eléctrico para llevar a cabo o cambiar el funcionamiento del motor los actuadores principales son los solenoides del inyector y la válvula de control de presión de accionamiento.

2.3 Inyector HEUI

El sistema HEUI tiene una característica importante, son inyectores-bombas que están alojados en el cabezote del motor, es un sistema hidráulico ya que funciona con aceite del motor, este sistema utiliza como cuerpo de acción en lugar de una leva al aceite del motor en una galería de alta presión y producen una presión de inyección de hasta 23500 psi o 162 Mpa.

(Guerrero, 2018) menciona que “Es el inyector más seguro y confiable que hasta el momento se dispone, su funcionamiento es mediante un diafragma, que se acciona por la presión aceite para activar el sistema de inyección en el inyector” (pág. 40).

La mayoría de inyectores HEUI son idénticos en forma y tamaño, pero ninguna es intercambiable porque cada inyector posee diferente volumen de inyección y características propias de alimentación

Los inyectores HEUI nunca deben intercambiarse de un modelo de motor a otro, ya que cada inyector debe ser elegido de acuerdo al fabricante, al modelo de motor y número de serie del motor.



Figura 10.Inyector HEUI

2.4 Tipos de inyectores HEUI

Los inyectores HEUI utilizan aceite de motor altamente presurizado para proporcionar fuerza de inyección. Existen 3 tipos de inyectores

2.4.1 HEUI tipo A

(Caterpillar, 1997) Este inyector HEUI A se identifica por tener el solenoide de color negro y no posee la característica PRIME o disparo dividido. Los primeros sistemas que ocuparon este tipo de inyector fueron en 1993-1995 marca Internacional y Ford.



Figura 11. Inyector HEUI tipo A

Fuente: (Combustion Diesel de Monterrey S.A. , 2019)

2.4.2 HEUI 3116 – 3126A

Estos inyectores usan un solenoide de montaje lateral y alta presión tubos de puente que suministran aceite.



Figura 12. Inyector HEUI 3116-3126A

Fuente: (Bertola, 2015)

2.4.3 HEUI tipo B

(Caterpillar, 1997) Este inyector HEUI B se distingue por el solenoide de color blanco. El inyector de Caterpillar (2), aunque parece similar a la aplicación Ford e internacional (1) tiene un émbolo más grande y mayores capacidades de volumen de suministro de combustible.



Figura 13. Inyector HEUI tipo B

Fuente: (Gomer, 2019)

(Caterpillar, 1997) Estos inyectores se utilizaron a partir de 1996 para los motores internacional, Ford, y Caterpillar, el HEUI tipo B consta con la característica PRIME o disparo dividido la cual consiste en la precisa medición de la cantidad de combustible a inyectar en la inyección piloto.

2.5 Operación del inyector HEUI

(Caterpillar, 2002) El inyector HEUI tiene 4 funciones bien determinadas Presurizar el combustible de 65 psi hasta un rango entre 5400 y 23500 psi.

Pulverizar el combustible a alta presión haciéndola pasar a través del orificio de la boquilla del inyector.

Otorgar la cantidad adecuada de combustible atomizado en la cámara de combustión

Dispersar el combustible atomizado uniformemente en la cámara de combustión.

2.5.1 Partes de inyector HEUI 3126

El inyector HEUI consta con varias partes entre estas se menciona las siguientes partes principales.

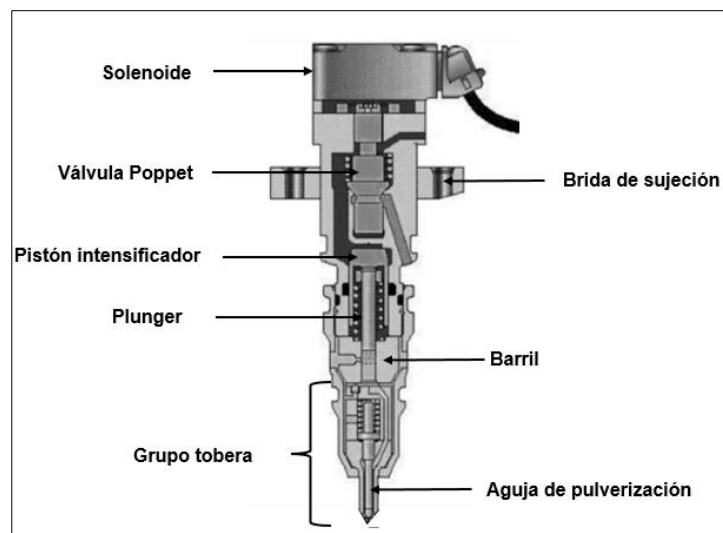


Figura 14. Partes del inyector HEUI 3126
Fuente: (Ralbovsky, 1999)

2.6 Fases de inyección del inyector HEUI

a) Pre- inyección

(Caterpillar, 2002) Durante la preinyección el motor se encuentra en estado de operación, en este momento todos los componentes internos del inyector están siendo sostenidos por los resortes y se encuentran en su posición inicial, es decir la bobina no se encuentra energizada y la válvula Poppet se encuentra en la parte inferior bloqueando el paso del aceite de accionamiento al inyector y por lo tanto el pistón

intensificador como el plunger se encuentran en la parte superior y la cavidad del plunger se encuentra llena de combustible, la presión en la cavidad del plunger es la misma que la de alimentación de combustible que se encuentra a alrededor 65 psi.

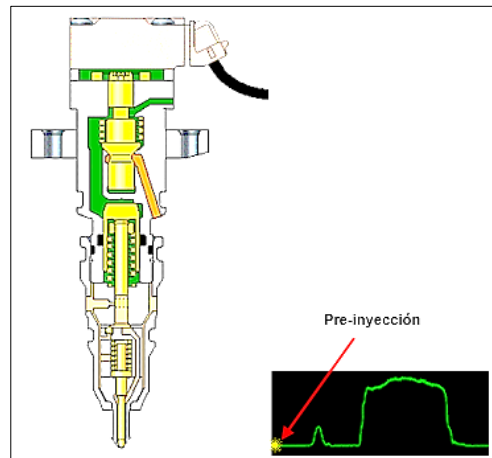


Figura 15. Preinyección

b) Inyección piloto

(Caterpillar, 2001) Comienza cuando el módulo electrónico de control determina que el inyector debe ser activado este envía una corriente a la bobina del inyector, la cual causa que la bobina produzca un fuerte campo magnético el cual atrae la armadura y el vástago de la válvula Poppet ya que se encuentran conectados por medio de un tornillo, la fuerza magnética la bobina supera la fuerza del resorte que mantiene la válvula Poppet cerrada atrayendo el vástago hasta cerrar el puerto superior, cuando el vástago cierra el puerto superior se evita el paso de aceite al tanque y puerto inferior se abre permitiendo el paso de aceite de accionamiento al inyector, el aceite del accionamiento fluye alrededor del vástago y llena la cámara del pistón del intensificador, esta elevada presión causa que el pistón y el plunger se muevan hacia abajo, el movimiento de estos componentes causan la presurización del combustible en la cavidad del plunger y en la boquilla, cuando la presión alcanza el valor de abertura de

la aguja de pulverización se levanta y comienza la inyección , este sistema de inyección cuenta con la característica llamada PRIME la cual consiste en la precisa medición de la cantidad de combustible a inyectar en la inyección piloto ,esta característica divide el proceso de la inyección total en dos inyecciones separadas como le es la inyección piloto y la inyección principal.

(Caterpillar, 2001) Cuando el plunger se alinea con el puerto de alivio el combustible puede fluir hacia afuera a través de las ranuras que tiene el intensificador regresando así al pasaje de alimentación de combustible, esta pérdida de presión en el combustible hace que la presión de inyección se caiga por debajo de la presión cerrando de la boquilla del inyector , la fuerza del resorte de la boquilla supera entonces la fuerza hidráulica de la presión disminuida de la inyección por causa del escaso combustible y el check de la boquilla se cierra deteniendo así momentáneamente la inyección esto es entonces el final de la inyección piloto.

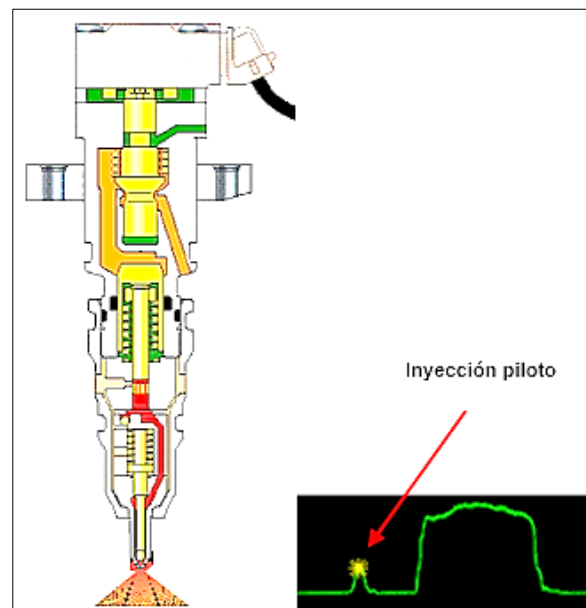


Figura 16. Inyección piloto

c) Retraso

(Caterpillar, 2001) Como el solenoide del inyector todavía se encuentra energizado la válvula de vástago se mantiene abierta y el aceite de accionamiento continúa fluyendo empujando hacia abajo el conjunto del intensificador y el plunger.

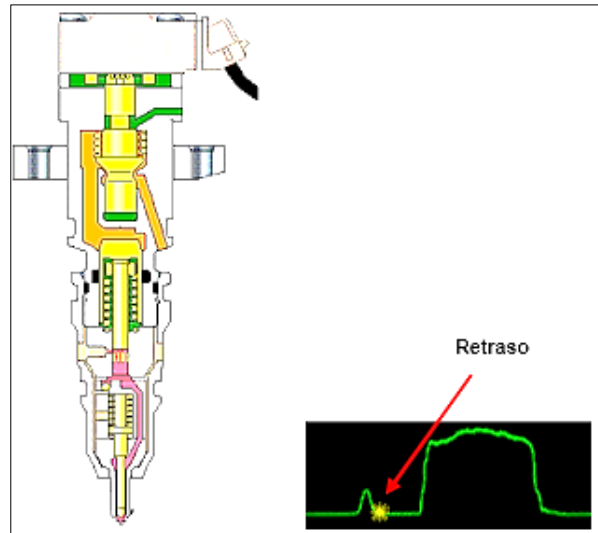


Figura 17. Retraso

d) Inyección principal

(Caterpillar, 2001) Ocurre cuando la ranura del intensificador pasa por el puerto de alivio y la presión de inyección crece de nuevo abriendo el check de la boquilla luego entonces el proceso de la inyección es continuo hasta que la bobina del inyector es desenergizada permitiendo que el resorte de la válvula lo retorne cerrando el paso del aceite.

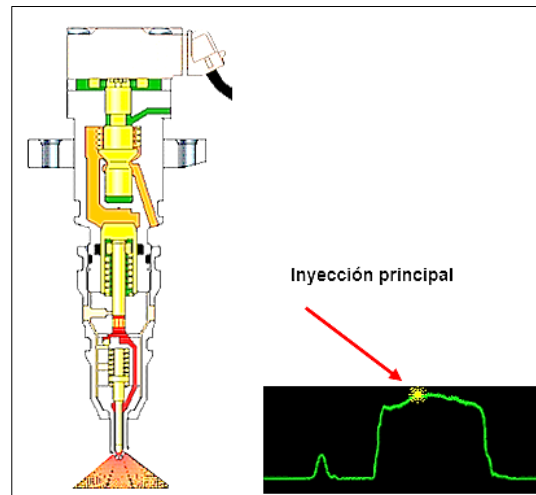


Figura 18. Inyección Principal

e) Fin de la inyección

(Caterpillar, 2001) Comienza cuando el módulo electrónico deja de enviar corriente a la bobina del inyector , luego este campo magnético colapsa y el vástago de la válvula Poppet regresa al puerto inferior cerrando así el paso del aceite de accionamiento presurizado al inyector, como el puerto inferior es cerrado al moverse el vástago de la válvula se abre el puerto superior ocasionado así que la presión de aceite de accionamiento que actúa en el pistón intensificador descienda, entonces la presión de combustible remanente en la cavidad del intensificador ejerce una fuerza sobre el plunger y el pistón intensificador , en este momento esta fuerza es más grande que la de la aceite en la cavidad del pistón intensificador ocasionando así que se interrumpa el movimiento hacia abajo del plunger , cuando el plunger se detiene en su carrera hacia abajo el flujo de combustible también se detiene , entonces la presión de inyección cae por debajo de la presión de cerrado de la boquilla y el check de la boquilla cierra finalizando así la inyección , el aceite sobrante que se encuentra en la cavidad del plunger y del pistón puede entonces fluir al tanque a través del puerto superior de la

válvula Poppet del inyector, cuando la válvula de tipo check de la boquilla cierra la inyección se detiene y el ciclo de llenado de combustible comienza de nuevo.

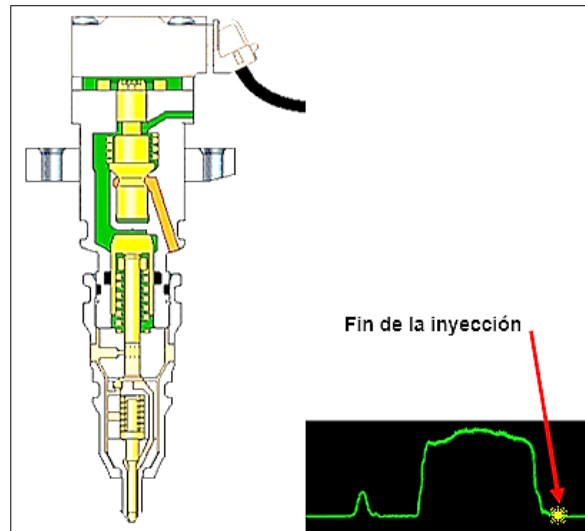


Figura 19. Final de la inyección

2.7 Aplicaciones del sistema de inyección HEUI

(Alanuca & Sangucho, 2013) mencionan que “Los fabricantes de equipos de construcción y maquinaria pesada como Caterpillar, Ford e International ofertan sus equipos provistos con este sistema de inyección de combustible entre los cuales se encuentran: Kodiak 3126E, Ford 7.3L, Navistar DT466e y Navistar 530e”

(Navistar Inc., 2019) El sistema de inyección de combustible Electro-Hidráulico de International® es un diseño de riel común, sin líneas externas de alta presión para impulsar los inyectores de válvula digitales. Este mismo sistema ofrece un control de sincronización más preciso para optimizar la entrega de combustible, dando mayor economía de combustible y menores emisiones. El sistema es también capaz de manejar combustibles jet "A" comercial, JP-8 y biodiesel (B-20).



Figura 20. Motor DT 466E

Fuente: (Navistar Inc., 2019)

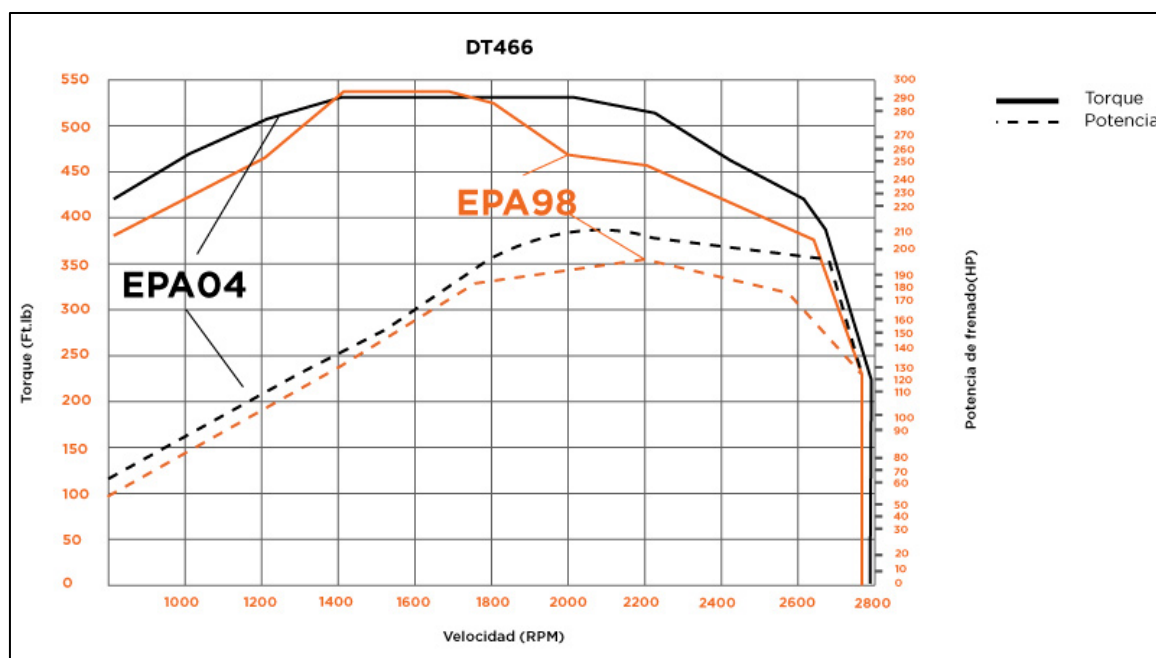


Figura 21. Torque - Potencia del motor DT466E

Fuente: (Navistar Inc., 2019)

2.8 Revisión y ajuste de sistemas de inyección

(Miralles, 1998) menciona que “cuando se detecta mala marcha del motor puede ser debido al mal estado de los inyectores, es necesario su revisión, limpieza, ajuste y en caso de ser necesario y posible su reparación” (pág. 141)

2.8.1 Mantenimiento y comprobación de inyectores

(Ocaña, 2000) menciona son que “los inyectores son conjuntos de precisión y pueden funcionar sin problemas 100000 km, o más siempre que se observe lo mínimo en el mantenimiento como cambio de filtros, drenaje del depósito, evitar calentones del motor y que estén bien sujetos” (pág. 548)

2.8.2 Mantenimiento y comprobación de toberas

(Ralbovsky, 1999) dice que “las toberas están sometidas al intenso calor y alta presión de la cámara de combustión. Además, deben suministrar una buena estanqueidad para evitar cualquier fuga de combustible.”

(Ocaña, 2000) La tobera merece una especial atención por ser la pieza clave del inyector, para su limpieza se sumerge en gasóleo, petróleo, keroseno o similar y después con un cepillo de latón se limpia la carbonilla exterior. (pág. 549)

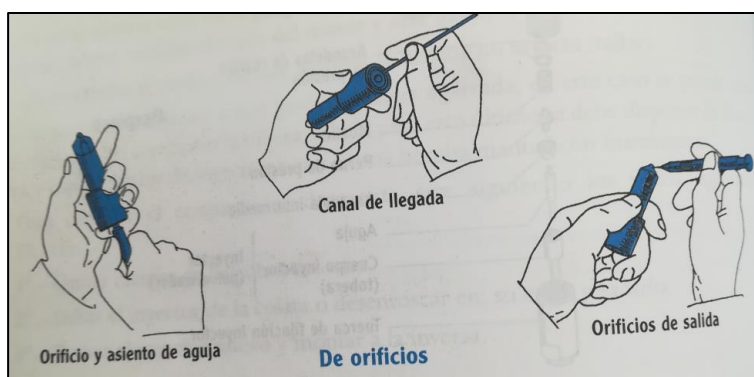


Figura 22. Limpieza del inyector de orificios

Fuente: (Ocaña, 2000)

2.8.3 Tarado

(Ocaña, 2000) Consiste en ver a que presión inyecta utilizando una bomba manual, se acciona lentamente hasta que se produzca la inyección, observando que la presión coincida con la indicada. (pág. 550)

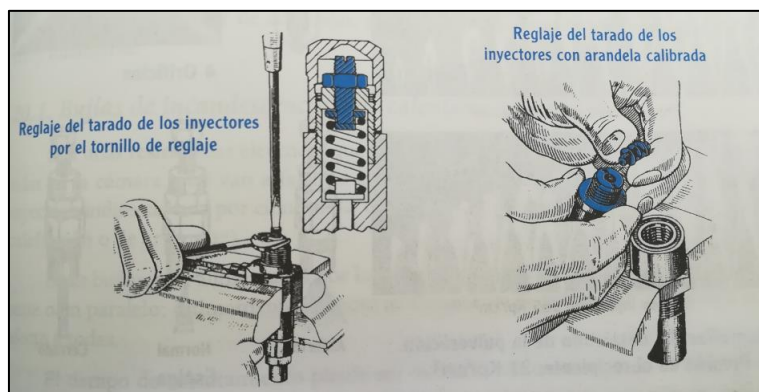


Figura 23. Ajuste de presión de inyección

Fuente: (Ocaña, 2000)

2.8.4 Estanqueidad del inyector

(Ocaña, 2000) Consiste en comprobar que el inyector no tiene fugas a presión ligeramente inferior a la de tarado en 1.5 a 2.0 Mpa, si está bien no debe gotear ni humedecerse la punta, caso contrario hay que cambiar la tobera. (pág. 551).

2.8.5 Control de pulverización y dirección de chorro

El chorro dependerá del tipo de tobera, si es de orificios saldrán tantos dardos como orificios, debiendo salir el combustible perfectamente pulverizados, de cualquier manera, si la tobera está bien debe roncar o rechinar con un sonido agudo y penetrante. Si la dirección del chorro o pulverización no es la correcta debe cambiar la tobera.

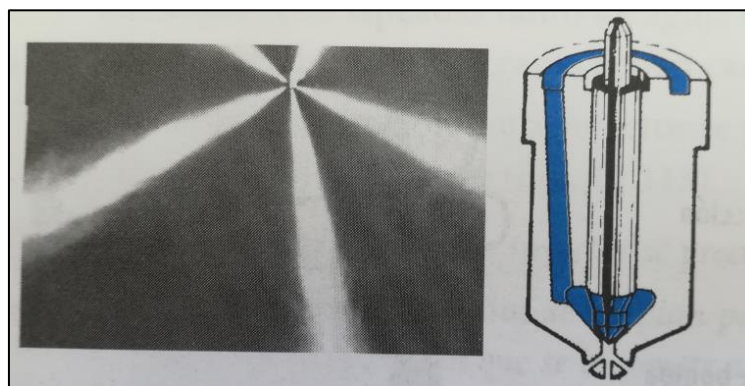


Figura 24. Chorros de inyección

Fuente: (Ocaña, 2000)

2.9 Pruebas de diagnóstico para detectar fugas del sistema

2.9.1 Medición del ciclo de trabajo del regulador de presión de control de inyección.

(Miralles, 1998) Un ciclo de trabajo inusualmente alto indica que el ECM está compensando la fuga de aceite aumentando el tiempo de funcionamiento del regulador de presión. Más tiempo o ciclo de trabajo. significa que regresa menos aceite al sumidero y que se entrega más aceite al circuito de alta presión.

2.9.2 Presurizar el circuito de alta presión y verificar si hay fugas de aceite.

(Macian, Peidro, Tormos, & Olmeda, 2005) Cuando los circuitos de presión se encuentran altamente presurizados con aceite deberían poder retener presión durante horas sin caída significativa. La contaminación del combustible por aceite también se debe por las juntas tóricas y es preciso verificar visualmente si no se encuentran rotas o en mal estado. Si la junta tórica del medio ha fallado, el aceite se abrirá paso hacia la parte inferior circuito de presión de combustible.



Figura 25. Verificación de las juntas tóricas

Se realiza una prueba de diagnóstico para determinar si el aceite está aireando mediante monitoreo del control de presión de inyección mientras opera el motor en ralentí durante tres minutos. Si el aceite comienza a airearse, el regulador aumentará en el ciclo de trabajo del control de presión de inyección, esto sucede ya que el sistema de control compensa una pérdida de presión causada por la aireación del aceite.

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN Y PRUEBAS

3.1 Equipos y herramienta de calibración

3.1.1 Banco de comprobación de inyectores HEUI

Es un equipo eficiente y de precisión utilizado para la calibración de bombas e inyectores, entre estos se puede calibrar inyectores EUI, Bosch, HEUI. Este banco cuenta con un software que emite todos los modelos de los diferentes inyectores y modelos de bombas, además cuenta con un informe de pruebas el cual compara resultados con parámetros establecidos por el fabricante.



Figura 26. Banco HEUI Dongtai CR-816

Tabla 4

Especificaciones del banco de pruebas CR-816

Ítem	Especificaciones
Potencia de salina nominal	kW, 11kW, 15Kw
Ajuste de presión	0 – 2500 bar
Temperatura	40 ±2 °C
Flujo de precisión de la medición	0.1 ml
Sistema de refrigeración	Ventilador o refrigeración forzada
Peso	800 kg
Electrónica de potencia	3 fase 380 V a 50 Hz 3 fase 220V 60 Hz
Numero de modelo	CR 816
Marca	DONGTAI
Flujo de pruebas	De 0 a 600ml / 1000veces

CONTINÚA 

Capacidad del tanque de combustible	60 L
Certificación	CE ISO

Fuente: (Dongtai, 2019)

3.1.2 Fuente de atracamiento automática CR-370

Es un equipo de regulación y calibración de los sistemas bombeantes en este caso (inyectores bomba) este equipo consta con 3 pruebas que son el atracamiento simple, atracamiento doble y atracamiento manual. (Zemtec, 2019)

Con este equipo en los inyectores HEUI por medio del atracamiento simple se puede conocer la cantidad de voltaje y corriente necesario para que la bobina del inyector pueda activarse.



Figura 27. Fuente de atracamiento automática CR-370

3.1.3 Megohmetro Supco M500

El M500 es un dispositivo resistente a los impactos y proporciona mediciones rápidas y precisas de verificación del estado del aislamiento de cualquier componente de bobina, este dispositivo tiene un alcance de 20 a 1000 MΩ a 500 VAC. (Supco, 2019)

(Bassante & Díaz, 2019) Su medición se realiza de la siguiente manera si se enciende el led de 20 corresponde a un aislamiento bajo o la bobina se encuentra en corto circuito, si el led de ON este encendido y no enciende ninguno led de la escala quiere decir que el aislamiento es superior a los 1000 MΩ y por conclusión se encuentra en un estado correcto de funcionamiento.

Para su conexión se conecta un terminal a la entrada de la bobina y el otro a la masa de la bobina y se presiona el botón de encendido y este instrumento comenzara a medir y se visualizara su valor dependiendo del estado de la bobina o del componente a ser medido.



Figura 28. Megohmetro Supco M500

Tabla 5

Especificaciones del Megohmetro Supco M500

Ítem	Especificaciones
Rango	20 a 1000 megohmios
Rango de temperatura	32°F a 120 °F (0°C A 50°C)
Medida / Función	Resistencia de aislamiento

Fuente: (Supco, 2019)

3.1.4 Base magnética

(IMA, 2018) Las bases magnéticas son imanes permanentes en forma de disco envueltos en una carcasa de hierro, para evitar daños y obtener mayor seguridad en su uso, con esta favorable combinación se obtiene un incremento en la fuerza de atracción en la cara imantada y se obtiene datos precisos ya que es un instrumento articulado adecuado para relojes palpadores.



Figura 29. Base magnética

Tabla 6

Especificaciones de la base magnética

Ítem	Especificaciones
Marca	Zerone
Material	Acero de aleación
Color	Rojo
Altura total	350 mm
Diámetro del orificio de sujeción	8 mm
Tamaño de base (largo, ancho y alto)	60x55x50 mm
Peso	1197 gramos

3.1.5 Reloj indicador de profundidad

(Neoteck, 2012) Es un instrumento de medición se utiliza para medir con precisión pequeñas distancias lineales en procesos mecánicos, industriales y de laboratorio sin errores de lectura.



Figura 30. Reloj palpador digital

Tabla 7
Especificaciones reloj indicador de profundidad

Ítem	Características
Marca	Neoteck
Material	Aleación de aluminio
Modelo	NTK021
Pantalla	LCD con 4 dígitos
Ámbito de medición	0 – 25.4 mm (0 – 1 pulgada)
Resolución	0.01 mm (0.0005 pulgadas)
Temperatura de funcionamiento	0 - 40 ° C
Peso	129 g
Cambiable	mm – pulgadas

Fuente: (Neoteck, 2012)

3.1.6 Medidor de espesor digital

(Neoteck, 2012) Es un instrumento de medición con pantalla de 3 dígitos que se utiliza para medir con precisión pequeñas distancias lineales en los procesos mecánicos industriales sin errores de lectura por ejemplo se puede medir cuero, papel, película, esponja, alambre.



Figura 31. Medidor de espesor digital

Tabla 8
Especificaciones medidor de espesor digital

Ítem	Especificaciones
Marca	Neoteck
Material	Aleación de aluminio/ hierro

CONTINÚA 

Pantalla	Lcd 3 dígitos
Rango de medición	0-12.7 mm (0-0.5 in)
Resolución	0.01mm (0.0005 in)
Temperatura de operación	0- 40 °C

Fuente: (Neoteck, 2012)

3.1.7 Herramientas HEUI 3126, C7, C9




(Dongtai, 2019) Son herramientas marca DONGTAI modelo BPZ01 adecuadas para la facilidad del desarmado y armado de inyectores Caterpillar C7,C9, y 3126, estos bloques de aplicación son accesorios hechos de acero de herramienta con alto contenido de carbono y la superficie está bien pulida con un paralelismo preciso.





Figura 32. Herramientas para inyectores HEUI

Tabla 9

Adaptadores para inyectores HEUI

ORD	MODELO	USO	IMAGEN
1	S01	CATERPILLAR 3126 HEUI (M28x1)	
2	S11	SERIE DE CATERPILLAR C7 HEUI (M29x1)	
3	S12	SERIE DE CATERPILLAR C9 HEUI (M29x1)	
4	H010	Aplicable para C7, C9	

CONTINÚA 

5	H011	Llave inglesa para la cabeza del inyector	
6	H014	Base de fijación para el inyector C7, C9,3126	

3.1.8 Comprobador manual de tobera

Este comprobador se utiliza para ajustar la presión de apertura del inyector, la presión de la boquilla del asiento y realizar pruebas de fugas, pruebas de modelado de repetición de atomización.

Este probador de inyectores Diésel consta de un medidor de escala dual de 0 a 400 bar / 0 a 5800 psi que ayuda a estabilizar las vibraciones en la aguja del inyector proporcionando un resultado óptimo y aumentando la vida útil del mismo.



Figura 33. Comprobador manual de tobera

3.1.9 Llave dinamométrica automática (torquimetro)

Es un instrumento que se utiliza para medir la torsión o torque aplicado a los elementos que tengan una rosca, por ejemplo, tornillos, tuercas, etc.

Este instrumento es útil cuando los accesorios de sujeción necesitan de una tensión específica. Tiene un sistema “click “que se activa cuando el torquimetro alcanza el torque pre ajustado, Su graduación viene marcada con escala en kilogramo- metro y pie – libra.



Figura 34. Llave dinamométrica automática

3.1.10 Osciloscopio Hantek 1008c

(Hantek, 2006) El osciloscopio automotriz Hantek 1008c es un instrumento que permite visualizar señales eléctricas, pulsos de inyección y estimar sus diferentes parámetros: frecuencia, período, amplitud, valores máximo y mínimo.

El instalador es compatible con la PC por lo que hace posible su rápida instalación y su fácil utilización se puede variar los valores de trabajo y visualizar las ondas ajustando las escalas a nuestra conveniencia.

(Bombón & Chalco, 2017)Esta interface cuenta con variedad de opciones cuya función es tomar medidas tanto en el eje “X “como en el eje “Y”, de las diferentes características a las que se encuentran trabajando cualquier dispositivo o sensor en tiempo real, cuenta con ocho canales, lo que permite trabajar con más de dos canales de medición al mismo tiempo sin ninguna interrupción.



Figura 35. Osciloscopio Hantek 1008c

Tabla 10

Especificaciones osciloscopio Hantek 1008c

Ítem	Especificaciones
Número de canales	8 canales
Resolución	18 bits
Impedancia de entrada	1mΩ
Rango de frecuencia	0-250 KHz
Alimentación	Conexión directa al computador
Instalación	CD de instalación (software)
Interfaz	USB 2.0
Peso	350 g

Fuente: (Hantek, 2006)

3.1.11 Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1



Figura 36. Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1

El detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1 es un dispositivo basado en computadora para la prueba de voltaje VI- análisis de corriente este dispositivo tiene 9 funciones entre estas tiene la detección de fallas doble canal, Fuente de alimentación DC programable ,Sensor de temperatura de infrarrojo, dibujo de circuito equivalente,

evaluación del resistor, condensador y diodo, detección de fallas con la función de comparar de la memoria, osciloscopio digital doble canal, señal de salida de onda cuadrada, salida de tensión analógica todas estas en un solo equipo.

Tabla 11*Especificaciones técnicas FADOS9F1*

A) Especificaciones de detención de fallas	
Prueba de voltaje	$\pm 1, \pm 2, \pm 6, \pm 12, \pm 24$
Prueba de resistor	Bajo $47k\Omega$, medio1 $3.5k\Omega$, Medio2 700Ω , Alto 250Ω
Frecuencias de prueba	Muy baja :2Hz Frecuencia baja2: 4Hz Frecuencia baja1:12Hz Frecuencia de prueba: 32.5 Hz Frecuencia alta: 355.4 Hz
Número de canales	2(canal 1 y canal 2)
Modo de escaneo	Manual y automático
B) Especificaciones de potencia y temperatura	
Fuente de alimentación DC	Ajustable 0-16 v, 20-1500ma
Sensor infrarrojo (IR)	Mide de entre $0 - 120^\circ$ de acuerdo a la temperatura ambiente
C) Especificaciones de osciloscopio PC	
Frecuencia de muestreo	400 K/s
Voltaje de entrada	Sonda 1X: ± 12 V, sonda10x: ± 100 V
Canal / ADC	2 canal / 12 bit
Sensibilidad	2,5 mV
Velocidad de imagen	0,02 ms/div 100ms/div
Memoria instantánea	64kbyte
D) Salida digital y analógica	
Salida	Canal 2
Voltaje de salida	-12V.+12VAjustable
Frecuencia digital	0.2KHz a 25
Conexión	Sonda amarilla canal 1 Sonda anillada azul canal 2 Sonda cocodrilo es COM y se pueden conectar en cualquier tipo de las tomas
Peso	1100 gramos

Fuente: (Fados, 2019)

3.1.12 Pinza amperimétrica BRAIN BEE

La pinza Amperimétrica es un instrumento de medición de corriente, que permite realizar mediciones sin la necesidad de abrir el circuito en el que se quiere tomar datos.

El funcionamiento de la pinza amperimétrica se basa en la medida indirecta de la corriente que circula por un conducto a partir del campo magnético que esta circulación de corriente genera. El nombre de pinza lo recibe por que el sensor se abre y abraza al cable cuya corriente se llega a medir.



Figura 37. Pinza amperimétrica Brain Bee

Tabla 12

Especificaciones pinza amperimétrica Brain Bee

Ítem	Especificación
Entrada	60A Max AC/DC
Salida	10 mV/A – 100 mv/A
Max voltaje	240V-AC/ 300 V- DC

Fuente: (BrainBee, 2017)

3.1.13 Multímetro digital MT-5211

Este dispositivo es un conjunto de multímetro y medidor de componentes LCR, ideal para comprobaciones y pruebas en el campo eléctrico como electrónico, es un multímetro con todas sus funciones diseñado para la medición de voltaje en CC y CA, corrientes en Vcc y Vca, resistencia, frecuencia, temperatura, continuidad, diodos y transistores.



Figura 38. Multímetro Digital Mt-5211

Tabla 13

Especificaciones multímetro MT-5211

Ítem	Especificaciones
Voltaje DC	200mV/2V/20V/200V \pm (0.5%+3) 1000V \pm (1.0%+ 5)
Volteje AC	200Mv \pm (1.2%+3) 2V/20V/200V \pm (0.8%+5) 750V \pm (1.2%+5)
Corriente DC	2mA/20mA/ \pm (0.8%+3) 200 mA/ \pm (1.2%+4) 20A \pm (3.0%+10)
Corriente AC	2mA/20mA/ \pm (1.0%+50) 200mA \pm (2.0%+5) 20A \pm (3.0%+10)
Resistencia	200 Ω \pm (0.8%+5) 2K/20K/200K/2M Ω \pm (0.8%+3) 20M Ω \pm (1.0%+15)
Capacitancia	20nF/200nF/2nF \pm (2.5%+20) 20uF/200uF \pm (5.0%+5)
Inductancia	2mH/20mH/200mH/2H/20H \pm (2.5%+20)
Temperatura	<400° \pm (1.0%+4)>400° \pm (1.5%+15)
Frecuencia	2k/20k/200k/2000k/10M Hz \pm (1.0%+0)
Fuente de alimentación	9 voltios


Fuente: (Prokit's Industries Co., 2004)

3.2 Procesos de armado y desarmado del inyector

3.2.1 Proceso de desarmado del inyector HEUI 3126

Para el proceso de desarmado del inyector HEUI se recomienda seguir el proceso detallado en la tabla 14.

Tabla 14**Proceso de desarmado del inyector HEUI**

N° PROCEDIMIENTO	GRÁFICA
1 Con el destornillador Torx T20 retirar los pernos de la bobina junto con el separador.	
2 Con el dado Torx E5 y una llave N°25 extraer el perno de la armadura.	
3 Extraer los pernos del espaciador con el dado Torx T25 y desmontar junto con la brida del inyector	
4 Retirar la válvula Poppet junto con el resorte.	

CONTINÚA 

- 5 Colocar el inyector en forma vertical con acceso a la boquilla.



- 6 Con la herramienta H011 desacoplar la boquilla de la tobera.



3.2.2 Despiece del conjunto bobina y válvula Poppet

En la figura 39 se detalla el despiece del conjunto eléctrico del inyector, donde la bobina (2) es la encargada de generar el campo magnético que atrae la armadura (4) que se encuentra acoplada a la válvula Poppet (11) por medio del perno (5), permitiendo el paso de aceite a alta presión; el manguito (8) y la arandela de calibración (9) son los encargados de limitar el recorrido de la válvula, el resorte (10) tiene como función retornar la válvula Poppet a su estado inicial cuando la bobina se encuentra sin alimentación.

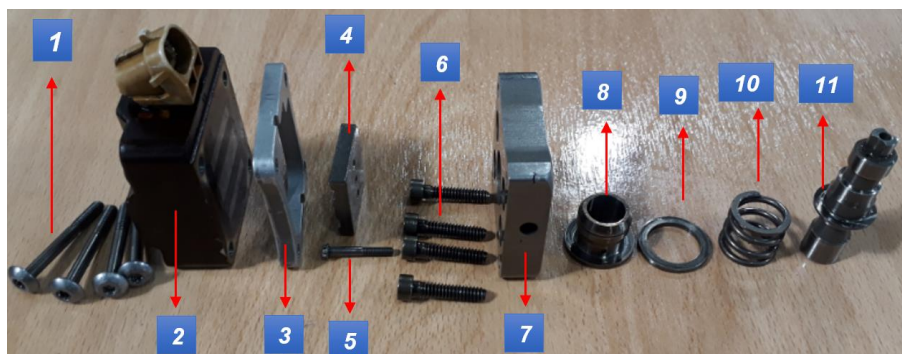


Figura 39. Despiece del conjunto bobina y válvula Poppet

3.2.3 Despiece del grupo tobera

En la figura 40 se observa el despiece de la parte mecánica del inyector HEUI 3126 donde se aprecia el conjunto tobera encargada de la pulverización del combustible, la válvula check (3) es la encargada de evitar el retorno del combustible en el momento de la inyección, el resorte (7) es el encargado de mantener cerrado la aguja (10) de la tobera; los palillos (6) guía son esenciales ya que mantiene alineados los orificios por donde circula el combustible.

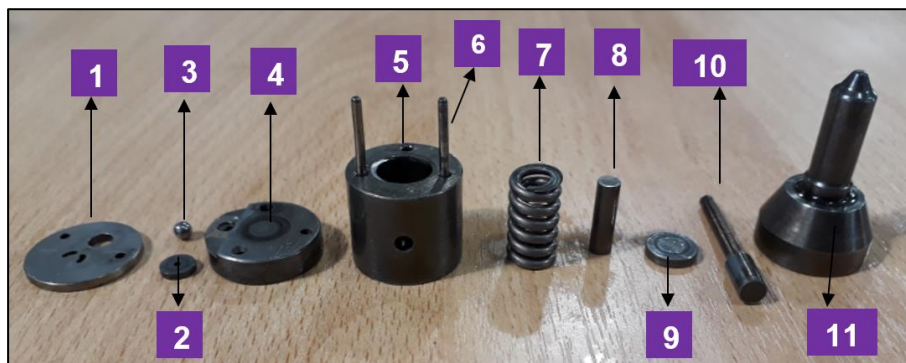


Figura 40. Despiece del grupo Tobera

3.2.4 Despiece pistón intensificador y plunger

En la figura 41 se observa el despiece de la parte mecánica del inyector donde se aprecia lo más importante como es el conjunto intensificador que es el encargado de elevar la presión de aceite a una razón de 6:1 para la adecuada pulverización del combustible; el aceite a alta presión se encuentra en el cuerpo del inyector (1), el cilindro y el pistón intensificador (2) por acción del aceite son los encargados de empujar el plunger (3) dentro del barril (5) el cual se encuentra lleno de combustible que ingresa por el orificio (7); posterior a la inyección el resorte (4) tiene como fin retornar al plunger a su posición inicial.

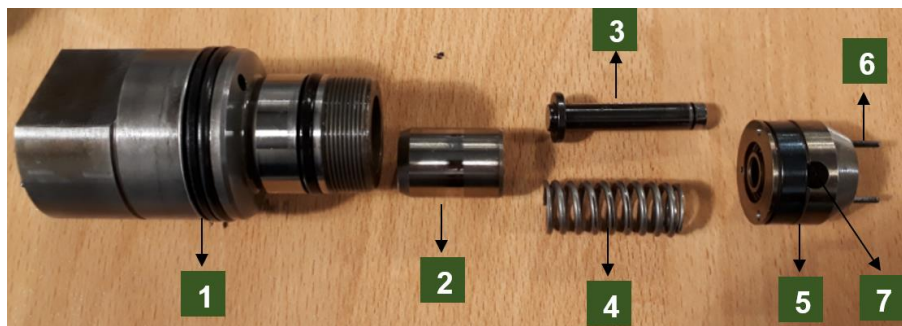


Figura 41. Despiece del pistón intensificador y plunger

3.2.5 Despiece inyector HEUI 3126

En la figura 42 se aprecia el despiece completo de inyector HEUI 3126, donde se observa tanto la parte eléctrica como la parte mecánica, siendo el conjunto bobina y válvula Poppet (1), grupo intensificador (2), grupo tobera (3), cuerpo del inyector (4), brida de sujecion (5) la encargada de mantener al inyector fijo en el cabezote del motor y la funda del inyector (6) que mantiene al grupo tobera unido al cuerpo del inyector.

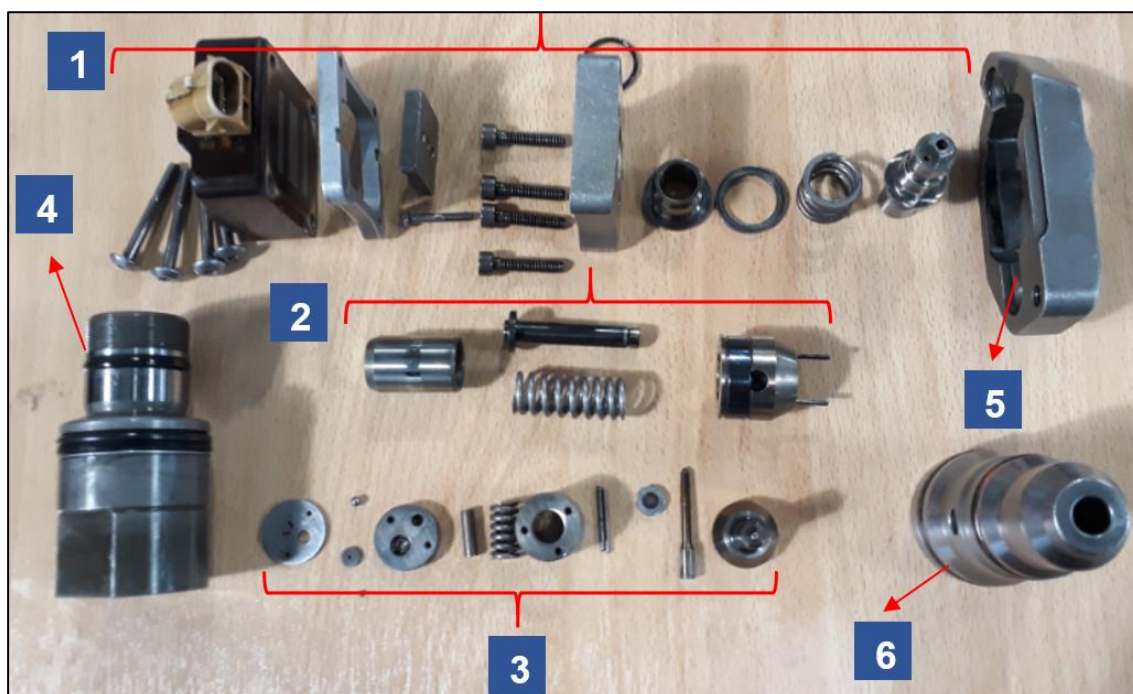






Figura 42. Despiece inyector HEUI 3126

3.2.6 Proceso de armado del inyector HEUI 3126

Para el proceso de armado del inyector HEUI se recomienda seguir el proceso detallado en la tabla 15.

Tabla 15

Proceso de armado del inyector HEUI

N° PROCEDIMIENTO	GRÁFICA
<p>1 Colocar el cuerpo inyector sobre la base sujetadora para el armado de la parte superior del inyector o el conjunto bobina.</p>	
<p>2 Ubicar la brida de sujeción en el cuerpo del inyector.</p>	
<p>3 Colocar la válvula Poppet en el interior del cuerpo del inyector</p>	
<p>4 Situar el muelle o resorte de la válvula Poppet</p>	

CONTINÚA 

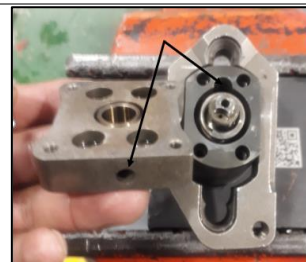
5 Introducir la arandela de tope en el manguito.



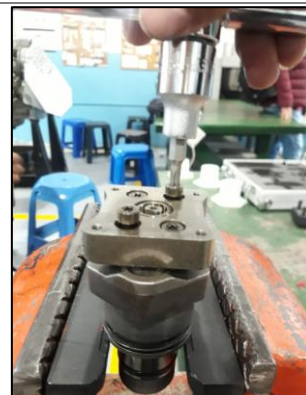
6 Insertar el manguito y la arandela de tope en el espaciador alineando los orificios de descarga de aceite.



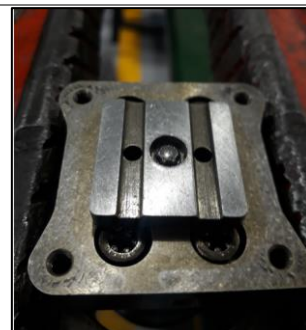
7 Monta el espaciador en el cuerpo del inyector considerando lo que el orificio de descarga del espaciador en los inyectores internacional se coloca en sentido contrario al conducto de salida del cilindro o cuerpo de inyector. (En los inyectores Caterpillar se colocan en el mismo sentido).



8 Con un dado Torx T25 ajustar los 4 pernos del espaciador a 10Nm.



9 Fijar el cuerpo inyector en la entenalla y con un dado Torx E5 y una llave N° 25 colocar la armadura.



CONTINÚA 

- 10 Ubicar el separador de la bobina con la armadura, considerando que los pines de la bobina deben quedar al mismo lado del orificio de descarga de aceite.



- 11 Ubicar la bobina y con el destornillador Torx T20 ajustar los 4 tornillos.



- 12 Invertir el cuerpo de inyector y colocar el pistón intensificador



- 13 Introducir el plunger en el pistón intensificador



CONTINÚA 

14 Ubicar el resorte o muelle del plunger



15 Colocar los palillos guía del barril del plunger



16 Instalar barril sobre el pistón intensificador y colocar los palillos guía del grupo tobera

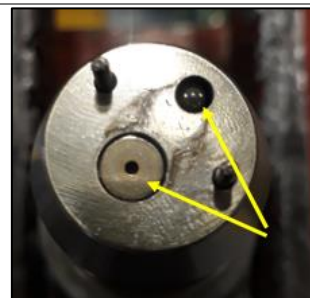


17 Situar la placa plana de tope



CONTINÚA 

18 Introducir el separador plano y la válvula antirretorno de combustible



19 Insertar la superficie de tope o base de tope



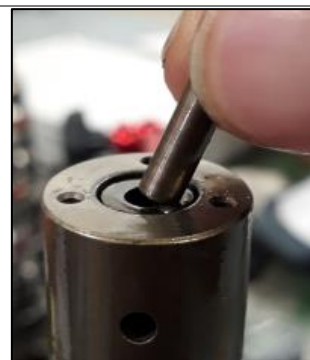
20 Instalar el manguito de la tobera sobre el conjunto tope.



21 Introducir el resorte de la tobera dentro del maguito

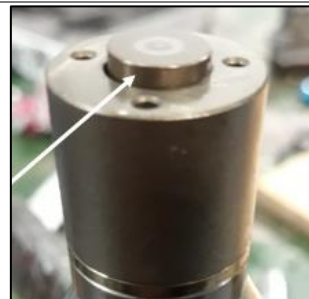


22 Montar el barril de la tobera dentro del resorte.



CONTINÚA 

23 Colocar el espaciador circular plano.



24 Introducir la aguja de pulverización en la punta de la tobera



25 Ubicar la punta de la tobera sobre las guías colocadas en el manguito



26 Instalar la boquilla de la tobera



27 Con la herramienta H011 y un torquímetro ajustar la boquilla de la tobera a 60 lb/pie





3.3 Protocolo de reparación de inyector HEUI 3126

Después de tener el conocimiento previo del desarmado y armado del inyector HEUI se debe realizar una comprobación de los diferentes elementos internos y externos del inyector para verificar que se encuentran en buen estado de óptimo de funcionamiento.

Tabla 16

Protocolo de reparación del inyector HEUI

ORD	DESCRIPCIÓN	GRÁFICA
1	<p>Comprobación del solenoide</p> <p>Para verificar el estado óptimo de la bobina, con ayuda de un multímetro se debe medir la resistencia existente y se debe encontrarse en el rango de 2.6 a 3.4 Ω; si se encuentra en valores menores a 2.6 Ω quiere decir que la bobina se encuentra en (corto circuito) y la resistencia infinita indican una bobina en mal estado</p>	
2	<p>Comprobación los rines o cauchos del inyector</p> <p>Debido que el inyector trabaja a alta presiones los rines y cauchos son los primeros elementos en deteriorarse por esa razón deben ser sustituidos al encontrarse picados o rotos.</p>	

CONTINÚA 

Comprobación de la válvula Poppet

- 3 El buen estado de la válvula Poppet se determina si el asiento no presenta ninguna deformación o desgaste.

**Comprobación del plunger**

- 4 El plunger se encuentra en buen estado cuando su coloración es uniforme, mientras que un plunger en mal estado presenta un color brillante con picaduras y se debe sustituir en conjunto con el barril y el resorte.

**Comprobación del pistón intensificador**

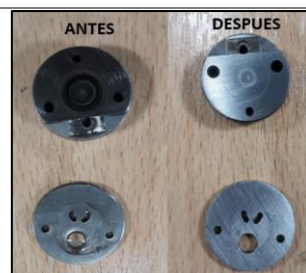
- 5 Se debe comprobar que el pistón intensificador no presente ninguna superficie irregular (ceja), esta ceja puede provocar que el ring no haga un cierre hermético con el cilindro y deje pasar el aceite al combustible.

**Comprobación de del grupo tobera (aguja de pulverización)**

- 6 Cuando un elemento del grupo tobera se encuentra en mal estado debe ser sustituir todo el conjunto, cuando la aguja de pulverización que se encuentra en el mal estado toma un color azulado y es porque se encuentra sobrecalentada y debe ser sustituida.

**Comprobación conjunto tope**

- 7 La tapa de tope y el tope deben tener una superficie plana perfecta. Para eliminar la aspereza en dichas piezas deben ser pulidas sobre una lija de agua apoyada en una superficie plana realizando una forma de 8 para obtener un acabado uniforme.



3.4 Protocolo de calibración del inyector HEUI 3126

3.4.1 Parámetro del inyector HEUI 3126

Tabla 17

Especificaciones del inyector HEUI

Ítem	Especificaciones
Torque en la tobera	60 libras/pie \pm 10
Numero de orificios	6
Recorrido de la válvula Poppet	0.22 mm
Distancia entre placas	0.32 mm
Presión de pulverización	250 bar \pm 10

3.4.2 Protocolo de calibración de la válvula Poppet

El inyector HEUI tiene varios componentes a ser calibrados, uno de ellos es el recorrido de la válvula Poppet, dicha válvula tiene varios parámetros de calibración los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 18


Parámetros de calibración de la válvula Poppet

	Medida	Tolerancia
Calibración estándar	0.27 mm	\pm 0.01 mm
Calibración mínima	0.20 mm	\pm 0.01 mm
Calibración máxima	0.34 mm	\pm 0.01 mm

Para realizar la calibración respectiva de la válvula Poppet se debe seguir el protocolo respectivo que se muestra en la siguiente tabla.

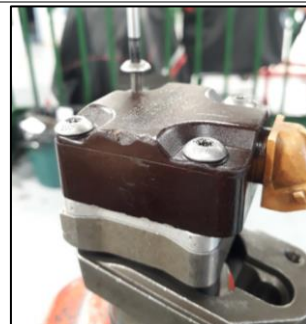
Tabla 19

Protocolo de calibración de la válvula Poppet

N°	PROCEDIMIENTO	GRÁFICA
1	Colocar al inyector sobre la base H014.	

CONTINÚA 

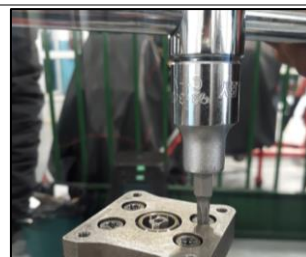
- 2 Con un destornillador Torx T20 retirar los pernos de la bobina.



- 3 Retirar el tornillo de la armadura con el dado Torx E5



- 4 Desmontar los 4 pernos de sujeción del espaciador con el dado Torx T25.



- 5 Quitar el resorte de la válvula Poppet y armar nuevamente la válvula.



- 6 Con el dado Torx T25 ajustar los pernos de sujeción del espaciador



CONTINÚA 

- 7 Ubicar la armadura y ajustar el tornillo con el dado Torx E5 y llave mixta #25.



- 8 Fijar el inyector en una superficie estable para obtener datos de medición precisos.



- 9 Encerar el reloj palpador en la superficie de la armadura con la ayuda de la base magnética



- 10 Elevar la armadura y anotar el valor de medición que marca el reloj palpador
Para variar el recorrido de la válvula Poppet se reemplaza la arandela de calibración que se encuentra entre el manguito y el espaciador.

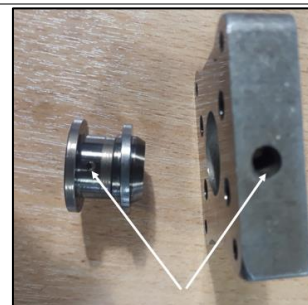


- 11 Con un calibrador pie de rey o un medidor de espesor digital se determina el grosor de la arandela.



CONTINÚA 

- 12 Ubicar la arandela de calibración en el manguito y alinear lo orificios de retorno de aceite e introducir en el espaciador



- 13 Ensamblar la armadura con el tornillo de sujeción.



- 14 Instalar el reloj palpador digital sobre la armadura y encerrar.



- 15 Elevar la armadura y anotar el valor de medición que marca el reloj palpador
Si la medición es correcta o tiene una tolerancia de ± 0.01 mm se encuentra calibrada



- 16 Se coloca el resorte de la válvula Poppet y posteriormente se realiza el armado de la misma con el ajuste necesario en los pernos del espaciador en este caso son 10 Nm



CONTINÚA 

- 17 Ubicar la bobina y ajustar los pernos de sujeción.



3.4.3 Protocolo de calibración de distancia entre placas (armadura-bobina)

La siguiente calibración del inyector es la calibración entre placas esto quiere decir que entre la bobina y la armadura de la válvula Poppet debe existir una distancia considerable para que el inyector pueda ser activado, a continuación, se detalla dichos parámetros de calibración.

Tabla 20

Parámetros de calibración de distancia entre placas

	Medida	Tolerancia
Calibración estándar	0.34 mm	± 0.01 mm
Calibración mínima	0.27 mm	± 0.01 mm
Calibración máxima	0.40 mm	± 0.01 mm

Para calibración de la distancia entre placas se debe seguir a continuación el protocolo presente en dicha tabla.

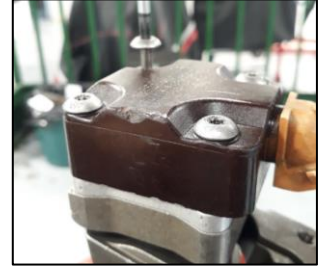
Tabla 21

Protocolo de calibración de distancia entre placas (armadura -bobina)

N°	PROCEDIMIENTO	GRÁFICA
1	Ubicar el inyector sobre la base H014.	

CONTINÚA

- 2 Extraer la bobina con el destornillador Torx T20.



- 3 Fijar el inyector en una superficie estable para obtener datos de medición precisos.



- 4 Encerar el reloj indicador de profundidad en la superficie de la armadura.



- 5 Ubicar el indicador de profundidad sobre el espaciador y anotar el valor. Si la medición sobrepasa a la especificada en los parámetros, se debe sustituir la rodela de alza que se encuentra debajo de la armadura y después realizar el mismo procedimiento de verificación



- 7 Montar la bobina con los pernos de sujeción con el destornillador Torx T20; al terminar la calibración, realizar la prueba de atracamiento a la bobina.



3.5 Protocolo de pruebas del inyector HEUI 3126

3.5.1 Pruebas mecánicas

Para estas pruebas mecánicas, al inyector se lo sometió a distintas calibraciones y se realizó 4 pruebas de entrega de caudal: prueba a alta carga, prueba a media carga, prueba a ralentí, y limpieza en el banco de comprobación de inyectores Dongtai CR-816.

En base a los datos obtenidos de los diferentes caudales entregados a distintas calibraciones y diferentes presiones de operación del inyector, se realizó tablas de comparación y se obtuvo un análisis y se verificó cuál de todas las calibraciones fue la adecuada o viable para un funcionamiento eficaz del motor diésel.

3.5.2 Prueba de ángulos de inyección

Para la prueba del ángulo de pulverización fue necesario la utilización de un banco de comprobación de toberas manual el cual ayudó a visualizar la presión de pulverización que se encuentra la tobera del inyector.

La prueba de ángulos de inyección permitió determinar el comportamiento de la tobera del inyector HEUI 3126 al trabajar a una presión de operación de 250 y 200 bares de una tobera nueva y una tobera usada respectivamente.

La tobera posee 6 orificios de inyección que se encuentra dispuestos a 60 grados y presentaron ángulos de disparo y dispersión diferentes para cada uno, adicional el cono de inyección se analizó mediante los orificios que se encuentra opuestos entre sí.

Cálculo:

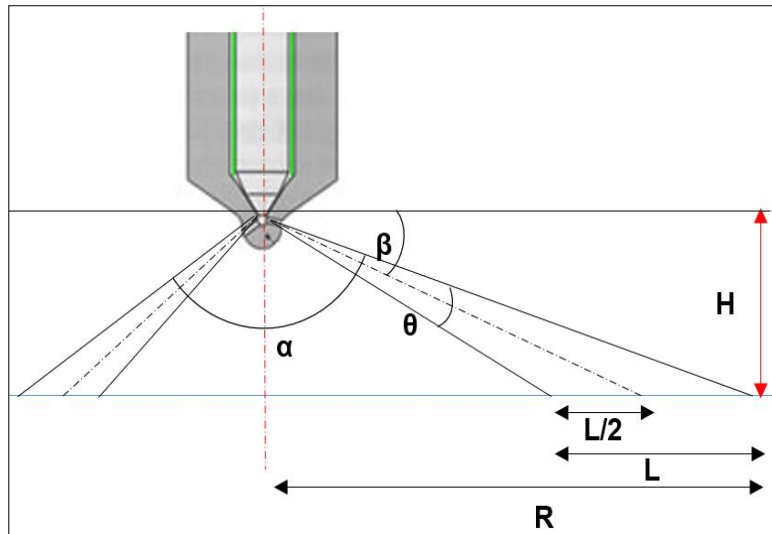


Figura 43. Ángulos de inyección para HEUI 3126

Donde:

H= altura

R= alcance de chorro

L= diámetro de chorro

β= ángulo de disparo

θ= ángulo de dispersión

α= ángulo de cono de inyección

Ángulo de disparo

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{R - \frac{L}{2}} \right)$$

Ecuación 1. Ángulo de disparo

Ángulo de dispersión

$$\theta = 2 \times \left(\tan^{-1} \left(\frac{H}{R - \frac{L}{2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{H}{R} \right) \right)$$

Ecuación 2. Ángulo de dispersión

Ángulo de cono de inyección entre orificios opuestos

$$\alpha = 360 - \beta_1 - \beta_4 + \theta_1 + \theta_4$$

Ecuación 3. Ángulo de cono de inyección

3.5.3 Pruebas eléctricas

Para las pruebas eléctricas serán necesarios varios equipos entre estos se tiene los siguientes:

- Megohmetro Supco 500
- Fuente de atracamiento CR-370
- Osciloscopio Hantek 1008c
- Pinza amperimétrica BRAINBEE
- Multímetro digital MT-5211

A) Prueba de aislamiento de la bobina del inyector

Para realizar esta prueba fue necesario la utilización del Megohmetro Supco 500 que es un dispositivo que ayudó a medir el aislamiento de la bobina.

Su medición fue realiza de la siguiente manera: si se enciende el led de 20 ohmios corresponde a un aislamiento bajo o la bobina se encuentra en corto circuito, si el led ON está encendido y no se enciende ningún led de la escala quiere decir que la bobina se encuentra en un estado correcto de funcionamiento.

B) Prueba de atracamiento de la bobina del inyector

Después de realizar la calibración de la distancia entre placas fue necesario ejecutar esta prueba al inyector por lo cual se utilizó la fuente de atracamiento Zemtec CR-370 que en la tabla 22 se detalla el procedimiento de utilización.

Tabla 22*Procedimiento de utilización de la Zemtec CR-370*

N°	PROCEDIMIENTO	GRÁFICA
1	Se conecta el equipo de comprobación de la bobina Zemtec cr-370 del puerto llamado SALIDA INYECTOR hacia los pines de la bobina.	
2	Se enciende el equipo y se coloca en la opción de atracamiento simple.	
3	Para iniciar la prueba se presiona el botón INI y el equipo comenzara el test de prueba.	
4	Una vez terminado la prueba, el equipo informara por la pantalla una medición de voltaje y amperaje de la bobina.	

La medición de voltaje y amperaje que indica el equipo Zemtec CR-370 es la cantidad necesaria que necesita la bobina para activarse y por ende el inyector comience a trabajar, estos valores de voltaje y amperaje cambiaran de acuerdo a la distancia de calibración entre placas (bobina – armadura).

C) Prueba de voltaje de activación del inyector

Para la elaboración de esta prueba se utilizó el osciloscopio Hantek 1008c, el cual gracias a su interfaz muy accesible y con sus diferentes opciones ayudó a visualizar el




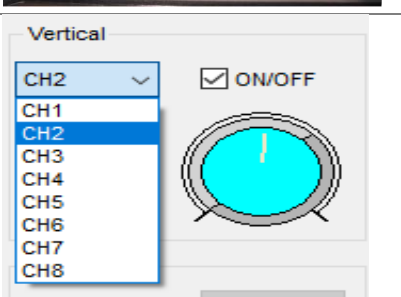
oscilograma de voltaje del inyector, así como sus valores máximo y mínimo de activación, adicional su voltaje pico.

D) Prueba de corriente de activación del inyector

Para esta prueba fue necesario la utilización de la pinza amperimétrica ya que es un instrumento de medición de corriente y permitió realizar mediciones sin la necesidad de abrir el circuito en el que se quiere tomar los datos, en la tabla 23, se detalla el procedimiento de utilización para obtener el oscilograma de corriente del inyector.

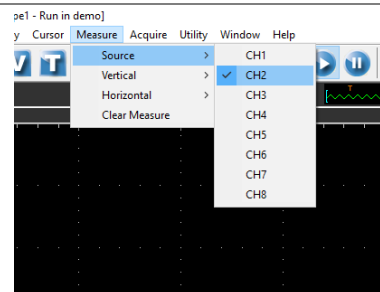
Tabla 23

Procedimiento para la obtención del oscilograma de corriente

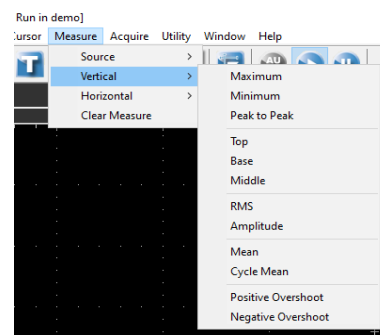
N°	PROCEDIMIENTO	GRÁFICA
1	Conectar la pinza amperimétrica al osciloscopio o a la interfaz Hantek 1008c	
2	Realizar la conexión de la pinza amperimétrica en el cable positivo del inyector fijándose en la fecha que marca el sentido de la corriente	
3	Seleccionar la escala adecuada en la pinza amperimétrica 60A (10mV/A)	
4	Al costado superior derecho de la interfaz se selecciona y se activa el canal para visualizar la onda (CH2)	

CONTINÚA 

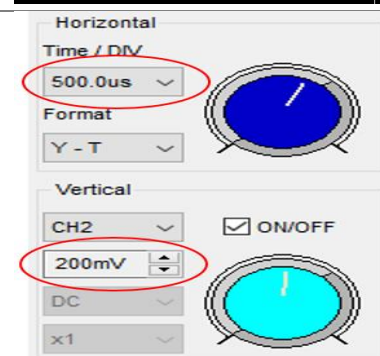
- 5 En la opción “measure” se elige en la pestaña “source” y se selecciona el canal donde se encuentre conectada la pinza amperimétrica (CH2)



- 6 Con la opción “measure” se selecciona el eje que requiere observar los valores de la gráfica.



- 7 Para visualizar de mejor manera la onda de corriente se puede ajustar la escala del osciloscopio. Eje “X” a 500 us y para el eje “Y” a 200mV por división.



- 8 Observar la onda de corriente que produce el inyector con sus valores máximo y mínimo.



E) Prueba de comprobación de resistencia de la bobina del inyector

Para la comprobación de la bobina del inyector, se utilizó un multímetro que determinó la resistencia existente y se consideró dentro del rango de 2.6Ω a 3.4Ω ; si se encuentran valores menores a 2.6Ω indica que la bobina se encuentra en (corto circuito), o si tiene resistencia infinita indica una bobina en mal estado.

F) Prueba de inductancia de la bobina del inyector

Para esta prueba fue necesario el multímetro digital MT-5211 que es un equipo especializado para la obtención de datos ya que consta con varias escalas de inductancia, el cual ayudó a una mejor apreciación de valores.

Para su medición se conectó los bornes del multímetro a los pines de la bobina con el inyector armado y posterior se ajustó la escala hasta obtener valores estables de inductancia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se analizó el comportamiento mecánico y eléctrico del inyector HEUI 3126, considerando las variaciones en la calibración incluyendo el uso de una tobera nueva y una usada, y como estos influyen en el caudal inyectado tanto en alta y media carga, así como en ralentí, adicional en el proceso de limpieza del inyector, gracias a la ayuda del banco DONGTAI CR-816 que permitió un proceso automatizado y secuencial del protocolo de pruebas.

Este protocolo de calibración tiene como indicadores principales:

- Variación del recorrido de la válvula Poppet
- Variación de la distancia entre armadura y el solenoide.
- Presión de inyección de la tobera (nueva y usada)
- Presión de trabajo (alta, media y baja) carga, adicional el estado de limpieza.

En el apartado de análisis eléctrico se consideró:

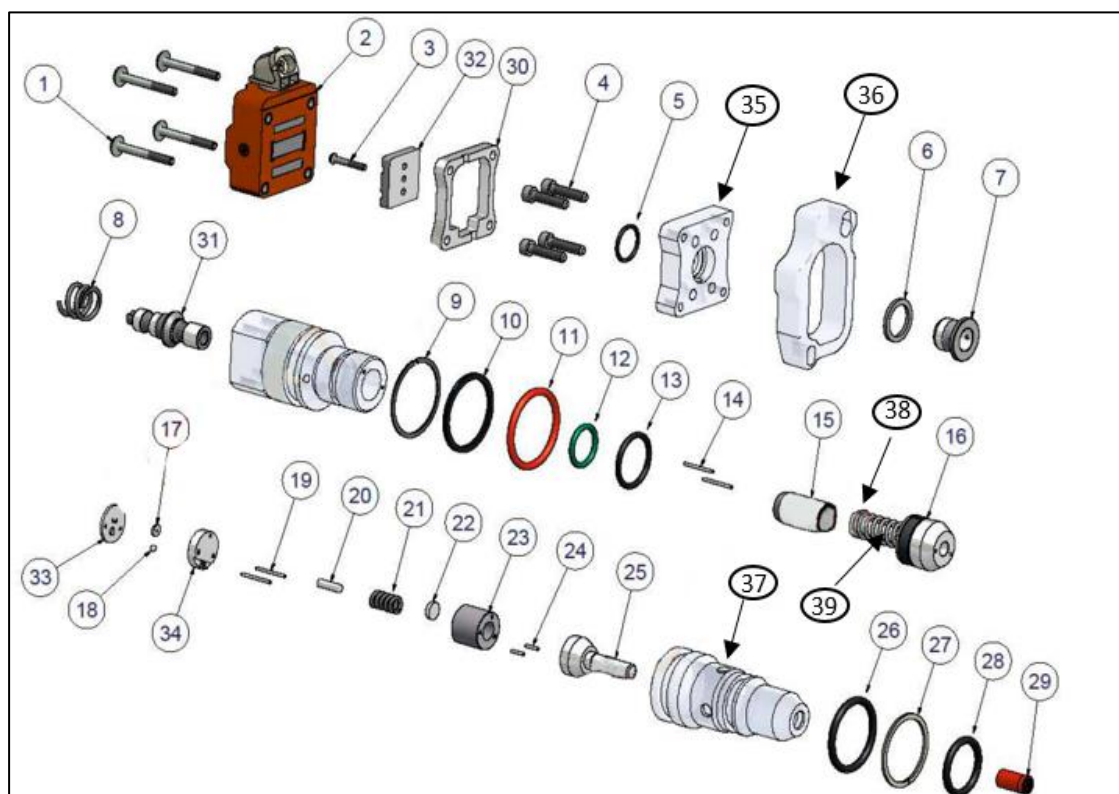
- Oscilogramas de voltaje y corriente
- Voltaje y corriente de atrancamiento
- Resistencia
- Inductancia

4.1 Despiece y nomenclatura del inyector HEUI 3126

Nomenclatura de los puntos de referencia de las partes que componen el inyector HEUI 3126.

Tabla 24**Nomenclatura del inyector HEUI 3126**

Orden	Descripción	Orden	Descripción
1	Pernos de sujeción de la bobina	21	Resorte de Tobera
2	Bobina o solenoide	22	Espaciador circular plano
3	Tornillo de sujeción armadura	23	Manguito de tobera
4	Pernos de sujeción espaciador	24	Palillos guía de punta de tobera
5	O-ring del espaciador	25	Conjunto aguja y punta de tobera
6	Arandela de tope	26-27	O-ring intermedio
7	Manguito	28	O-ring de Inferior de combustible
8	Resorte válvula Poppet	29	Asiento de inyector
9-10-11	Sello superior de aceite	30	Separador de bobina
12	O-ring cilindro intensificador	31	Válvula Poppet
13	Sello de camisa	32	Armadura
14	Palillos guía	33	Tapa de tope
15	Pistón intensificador	34	Tope
16	Barril	35	Espaciador
17	Válvula check inversora de flujo	36	Brida de sujeción
18	Válvula check de combustible	37	Funda del inyector
19	Palillos guía de Tope	38	Plunger
20	Barril de tobera	39	Resorte de plunger

**Figura 44.** Despiece inyector HEUI 3126

Fuente: (Lopez, 2019)

4.2 Comprobación y análisis del comportamiento mecánico del inyector HEUI

4.2.1 Prueba estanqueidad

La prueba se basó en la observación del funcionamiento del inyector al estar sometido a las presiones 180 bares de presión de aceite proporcionadas por el banco DONGTAI CR-816 no debe existir retorno ni fuga de combustible por ningún orificio donde se encuentra montado el inyector.

4.2.2 Prueba de pulverización

Conforme al uso del comprobador de toberas, el cual permitió observar la presión de pulverización a la que está sometida, en condiciones normales de funcionamiento, una tobera nueva y correctamente montada indicó una presión de 250 bares, por otra parte, la tobera de medio uso indicó una presión de trabajo de 200 bares, con las que se procedió al estudio con el resto de condiciones

4.2.3 Análisis de los ángulos de inyección tobera nueva 250 bares

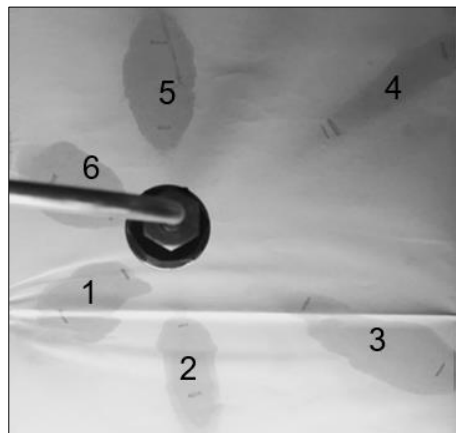


Figura 45. Patrón de pulverización de tobera 250 bares

En la figura 45 se observa la forma de los chorros de inyección de cada orificio de la tobera a 250 bares de operación donde se aprecia que están distribuidos a 60 grados,

adicional se observa que el orificio 4 tuvo un mayor alcance mientras que el orificio 1 indicó el alcance mínimo.

Tabla 25

Datos de pruebas de los ángulos de inyección

Parámetros	Orificios					
	1	2	3	4	5	6
Altura	26	26	26	26	26	26
Alcance de chorro	86	104	202	248	130	84
Diámetro de chorro	48	44	102	114	58	45

En la tabla 25 se muestran los datos obtenidos en la prueba de pulverización al banco comprobador de toberas manual, donde la altura de los orificios de inyector respecto a la superficie fue de 26 mm, adicional se puede observar que el alcance mínimo fue de 86 mm mientras que el máximo fue 248 mm de los orificios 1 y 4 respectivamente.

Tabla 26

Ángulos de disparo y dispersión de los orificios del inyector a 250 bares

	Orificios					
	1	2	3	4	5	6
Ángulo de disparo	22,75	17,59	9,77	7,75	14,44	22,92
Ángulo de dispersión	11,86	7,11	4,87	3,53	6,25	11,44

En la tabla 26 se muestran los resultados de los cálculos al aplicar las ecuaciones 1 y 2 que permitieron determinar los ángulos de inyección de la tobera al operar a 250 bares de presión.

Tabla 27

Ángulos de conos de inyección entre orificios opuestos

	Orificios		
	1 - 4	2 - 5	3 - 6
Ángulo cono de inyección	337,19	334,65	335,47

En la tabla 27 se muestran los resultados del cálculo al aplicar la ecuación 3 que permitió determinar los grados del cono de inyección generado por los orificios que se encuentran opuestos entre sí, de la tobera que operó a 250 bares de presión.

4.2.4 Análisis de los ángulos de inyección tobera nueva 200 bar

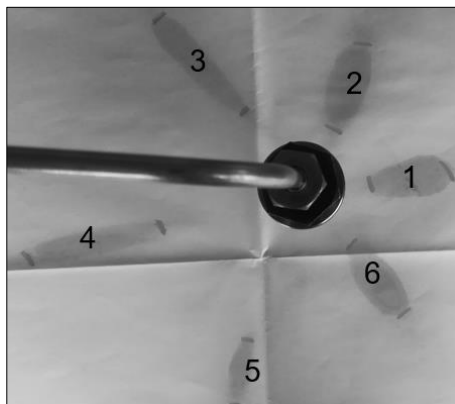


Figura 46. Patrón de pulverización de tobera 200 bar

En la figura 46 se observa la forma de los chorros de inyección de cada orificio de la tobera a 200 bares de operación donde se aprecia que están distribuidos a 60 grados, adicional se observa que el orificio 4 tuvo un mayor alcance mientras que el orificio 1 indicó el mínimo alcance.

Tabla 28

Datos de pruebas de los ángulos de inyección

Parámetros	Orificios					
	1	2	3	4	5	6
Altura	26	26	26	26	26	26
Alcance de chorro	98	112	147	180	170	104
Diámetro de chorro	54	65	87	86	70	60

En la tabla 28 se muestran los datos obtenidos en la prueba de pulverización al banco comprobador de toberas manual, donde la altura de los orificios de inyector respecto a la superficie fue de 26 mm, adicional se puede observar que el alcance mínimo fue de 98 mm mientras que el máximo fue 180 mm de los orificios 1 y 4 respectivamente.

Tabla 29

Ángulos de disparo y dispersión de los orificios del inyector a 250 bar

	Orificios					
	1	2	3	4	5	6
Ángulo de disparo	20,11	18,11	14,10	10,75	10,90	19,36
Ángulo de dispersión	5,25	5,04	4,07	2,53	2,21	5,32

En la tabla 29 se muestran los resultados de los cálculos al aplicar las ecuaciones 1 y 2 que permitieron determinar los ángulos de inyección de la tobera al operar a 200 bares de presión.

Tabla 30

Ángulos de conos de inyección entre orificios opuestos

	Orificios		
	1 - 4	2 - 5	3 - 6
Ángulo cono de inyección	336,92	338,24	335,93

En la tabla 30 se muestran los resultados del cálculo al aplicar la ecuación 3 que permitió determinar los grados del ángulo del cono de inyección generado por los orificios que se encuentran opuestos entre sí, de la tobera que opera a 200 bares de presión.

4.2.5 Calibraciones del inyector HEUI para el banco DONGTAI CR-816

Tabla 31

Calibración del inyector HEUI para el banco DONGTAI CR-816

Calibración	Recorrido válvula	Distancia entre armadura	Presión de tobera bar
	Poppet mm	bobina mm	
1	0,27	0,34	250
2	0,27	0,34	200
3	0,27	0,30	250
4	0,27	0,30	200
5	0,27	0,40	250
6	0,27	0,40	200
7	0,20	0,27	250
8	0,20	0,27	200
9	0,33	0,40	250
10	0,33	0,40	200

4.2.6 Prueba a ralentí

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 80 bar para verificar el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina, adicional a la utilización de una tobera nueva y una usada.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Cabe indicar que se realizaron tres pruebas en cada estado de calibración considerando tanto la tobera nueva a 250 bares como la usada a 200 bares, para obtener una mejor apreciación de los parámetros del caudal inyectado y un mejor análisis se realizó con el valor promedio.

Tabla 32

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 80 bares con una variación de calibración del inyector

Calibración	Caudal mín. ml/min	Caudal máx. ml/min	Caudal ideal ml/min	Prueba 1 ml/min	Prueba 2 ml/min	Prueba 3 ml/min	Caudal de inyección promedio ml/min
1	3,5	9,5	6,5	4,34	3,62	3,32	3,76
2	3,5	9,5	6,5	4,34	3,62	4,64	4,20
3	3,5	9,5	6,5	6,27	5,49	5,91	5,89
4	3,5	9,5	6,5	6,33	6,03	5,61	5,99
5	3,5	9,5	6,5	7,78	7,18	7,30	7,42
6	3,5	9,5	6,5	7,12	6,88	7,24	7,08
7	3,5	9,5	6,5	8,99	10,68	10,25	9,97
8	3,5	9,5	6,5	12,00	11,28	12,00	11,76
9	3,5	9,5	6,5	6,94	6,39	6,88	6,74
10	3,5	9,5	6,5	4,83	4,28	4,34	4,48

En la Tabla 32 se muestran los datos resultantes de las pruebas del inyector HEUI 3126 a una presión de 80 bares, al variar el recorrido de la válvula Poppet y distancia de armadura, así como el uso de una tobera nueva y una usada.

Se efectuaron 3 pruebas en las cuales no existe una variación significativa en los valores de caudal entregados, por tanto, no hizo necesario la valoración del caudal promedio.

Se observa el caudal máximo de 11,76 ml/mín. con la calibración 8 de la tabla 31 y un caudal mínimo de 3,76 ml/mín. con la calibración 1 de la misma tabla.

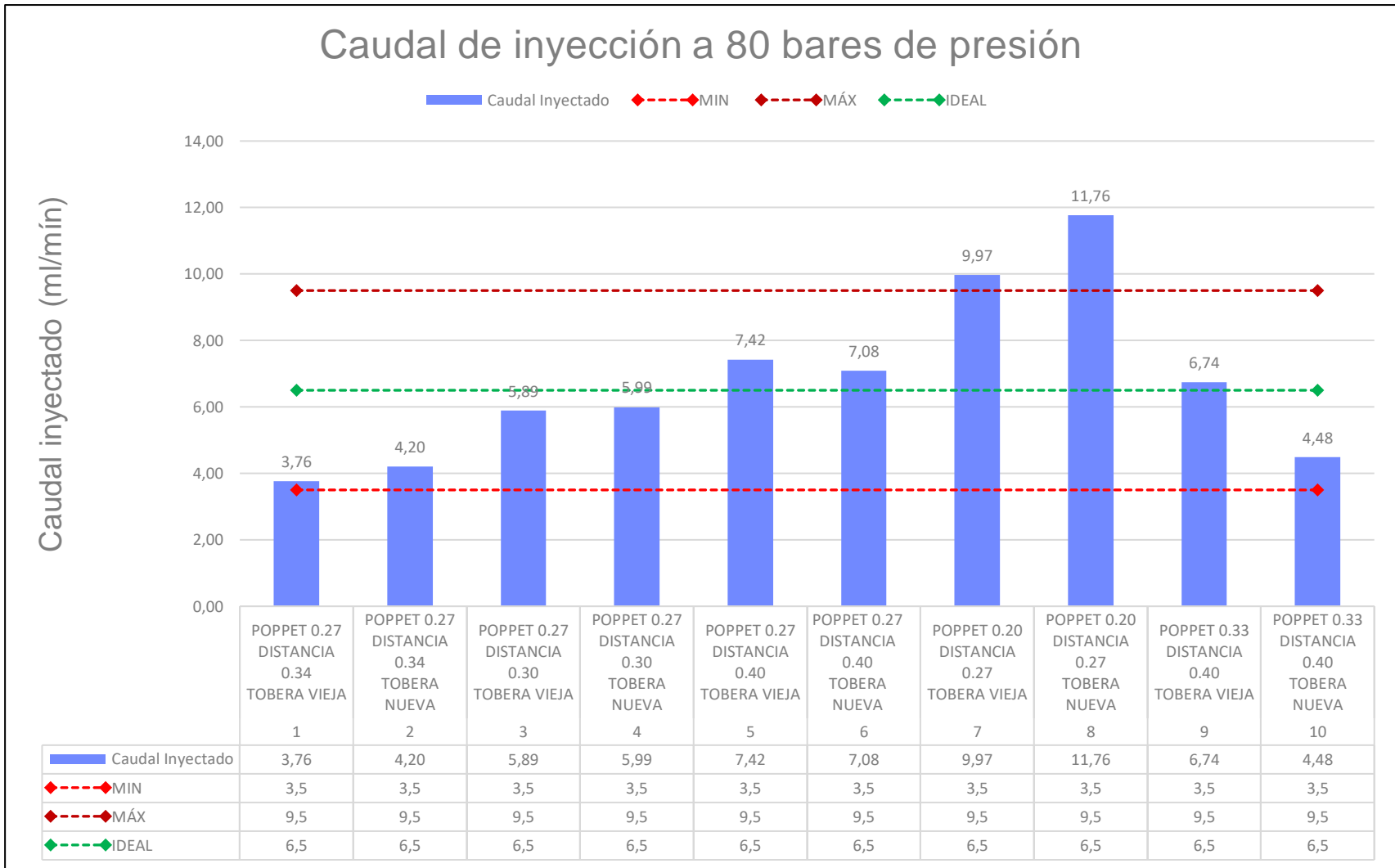


Figura 47. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a baja carga (ralentí), con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina

En la Figura 47 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 80 bares, en donde, los caudales de la mayor parte de las calibraciones se encuentran dentro del rango mínimo y máximo permitido para esta prueba que va desde 3,5 hasta 9,5 ml/mín. respectivamente siendo el ideal 6,5 ml/mín. Se observa también que las calibraciones 7 y 8 de la tabla 31, proporcionan un caudal fuera del rango permitido.

Las calibraciones 3 y 4 expuestas en la tabla 31, son las que proporcionan un caudal más aproximado al caudal ideal, entonces indica que, a una presión de 80 bares, es la más adecuada para el trabajo en el motor evitando emisiones, así como un excesivo consumo de combustible.

El uso de una tobera a 250 bares de operación influyó directamente en el caudal en relación a una tobera a 200 bares de operación con una variación mínima.

El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina.

4.2.7 Prueba a media carga

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 150 bares para verificar el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina, adicional a la utilización de una tobera nueva y una usada.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Cabe indicar que se realizaron tres pruebas en cada estado de calibración considerando tanto la tobera nueva a 250 bares como la usada a 200 bares, para obtener

una mejor apreciación de los parámetros del caudal inyectado y un mejor análisis se realiza con el valor promedio.

Tabla 33

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 150 bares con una variación de calibración del inyector

Calibración	Caudal mín. ml/min	Caudal máx. ml/min	Caudal ideal ml/min	Prueba 1 ml/min	Prueba 2 ml/min	Prueba 3 ml/min	Caudal de inyección promedio ml/min
1	3,5	8,5	6	8,99	6,09	4,83	6,64
2	3,5	8,5	6	8,08	5,85	4,40	6,11
3	3,5	8,5	6	13,75	14,72	13,21	13,89
4	3,5	8,5	6	12,91	15,14	13,99	14,01
5	3,5	8,5	6	10,8	10,5	11,58	10,96
6	3,5	8,5	6	12,31	12,18	14,18	12,89
7	3,5	8,5	6	18,82	17,91	16,83	17,85
8	3,5	8,5	6	15,92	18,58	17,25	17,25
9	3,5	8,5	6	13,81	15,56	14,54	14,64
10	3,5	8,5	6	13,87	14,3	13,69	13,95

En la Tabla 33 se muestran los datos resultantes de las pruebas del inyector HEUI 3126 a una presión de 150 bares, al variar el recorrido de la válvula Poppet y distancia de armadura, así como el uso de una tobera nueva y una usada.

Se efectuaron 3 pruebas en las cuales no existió una variación significativa en los valores de caudal entregados, por tanto, no se hizo necesario la valoración del caudal promedio.

Se observa el caudal máximo de 17,85 ml/mín. con la calibración 7 de la tabla 31 y un caudal mínimo de 6,11 ml/mín. con la calibración 2 indicado en la tabla 31.

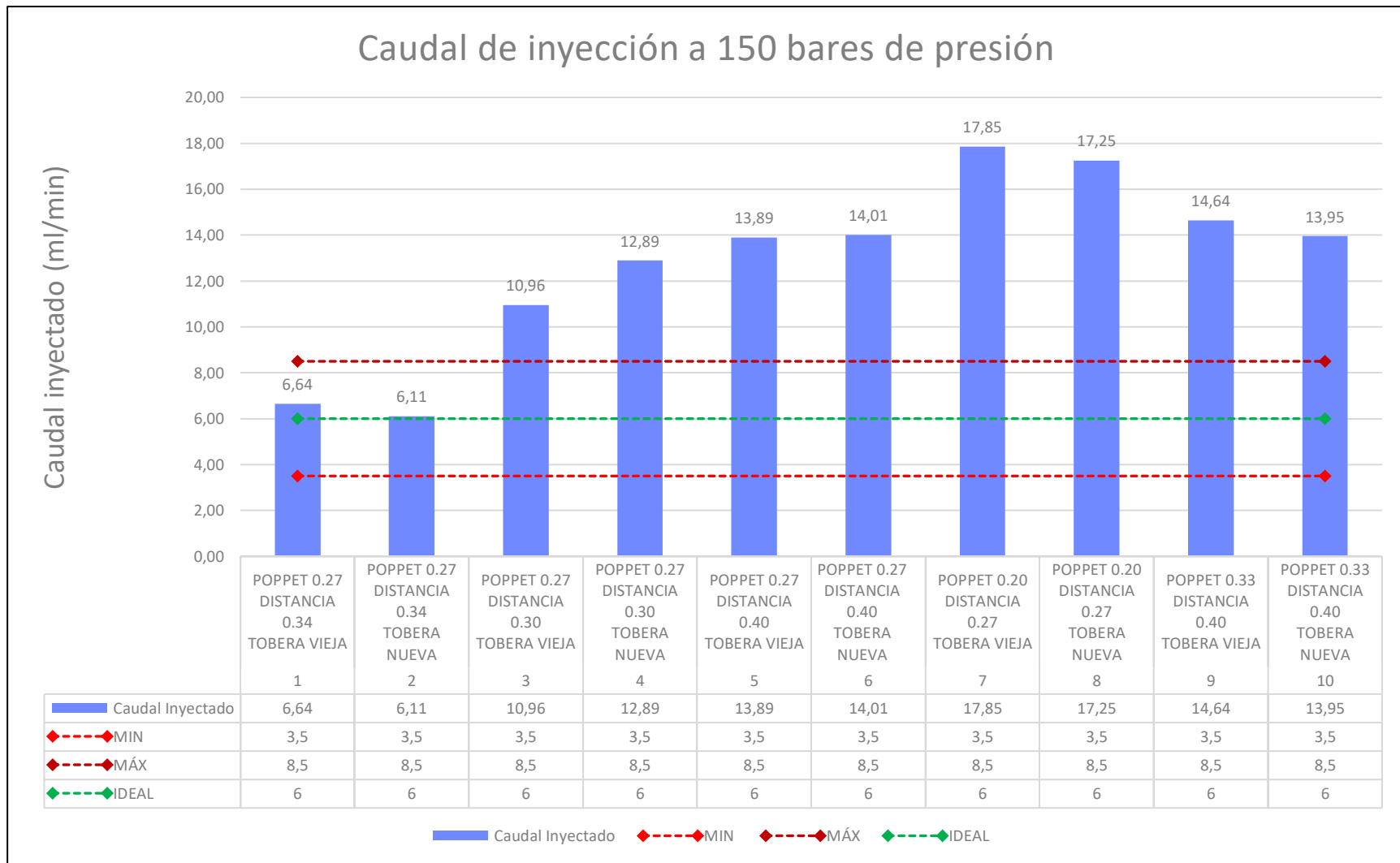


Figura 48. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a media carga, con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina

En la Figura 48 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 150 bares, donde los caudales de la mayor parte de las calibraciones se encuentran fuera del rango mínimo y máximo permitido para esta prueba que va desde 3,5 hasta 8,5 ml/mín. respectivamente siendo el ideal 6 ml/mín.

Las calibraciones 1 y 2 expresadas en la tabla 31, son las que proporcionan un caudal aproximado al caudal ideal, esto indica que, a una presión de 150 bares, es la indicada para el trabajo en el motor evitando emisiones, así como un excesivo consumo de combustible. Cabe indicar que las calibraciones 1 y 2 son el estándar recomendadas por el fabricante de los inyectores.

El uso de una tobera a 250 bares de operación influyó directamente en el caudal en relación a una tobera a 200 bares de operación con una variación mínima.

El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina

4.2.8 Prueba a alta carga

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 200 bares para verificar el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina, adicional a la utilización de una tobera nueva y una usada.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Cabe indicar que se realizaron tres pruebas en cada estado de calibración considerando tanto la tobera nueva a 250 bares como la usada a 200 bares, para obtener

una mejor apreciación de los parámetros del caudal inyectado y un mejor análisis se realiza con el valor promedio.

Tabla 34

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 200 bares con una variación de calibración del inyector

Calibración	Caudal mín. ml/min	Caudal máx. ml/min	Caudal ideal ml/min	Prueba 1 ml/min	Prueba 2 ml/min	Prueba 3 ml/min	Caudal de inyección promedio ml/min
1	10	20	15	9,24	10,2	14,43	11,29
2	10	20	15	16,55	18,79	19,65	18,33
3	10	20	15	9,51	8,59	8,88	8,99
4	10	20	15	9,22	9,62	8,76	9,20
5	10	20	15	9,62	10,25	11,91	10,59
6	10	20	15	13,69	11,11	10,02	11,61
7	10	20	15	18,04	13,00	14,26	15,10
8	10	20	15	10,08	13,69	11,86	11,88
9	10	20	15	14,03	16,50	18,56	16,36
10	10	20	15	13,40	10,37	10,37	11,38

En la tabla 34 se muestran los datos resultantes de las pruebas del inyector HEUI 3126 a una presión de 200 bares, al variar el recorrido de la válvula Poppet y distancia de armadura, así como el uso de una tobera nueva y una usada.

Se efectuaron 3 pruebas en las cuales existe una variación significativa en los valores de caudal entregados, por tanto, se hizo necesario la valoración del caudal promedio.

Se observa el caudal máximo de 16,36 ml/mín. con la calibración 9 expresada en la tabla 31 y un caudal mínimo de 8,99 ml/mín. con la calibración 3 de la misma tabla.

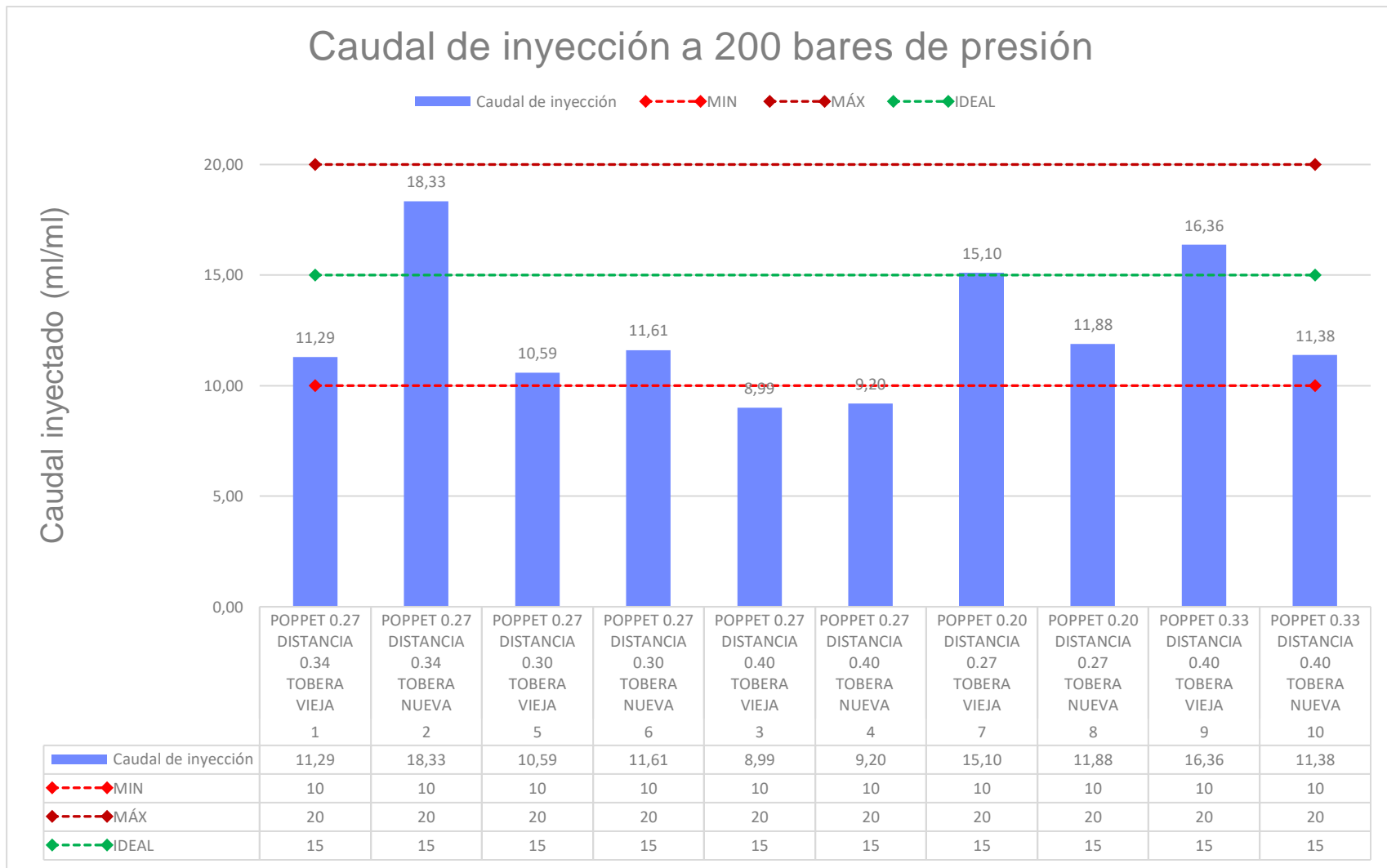


Figura 49. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a alta carga, con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina

En la Figura 49 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 200 bares, en donde, los caudales de la mayor parte de las calibraciones se encuentran dentro del rango mínimo y máximo permitido para esta prueba que va desde 10 hasta 20 ml/mín. respectivamente, siendo el ideal 15 ml/mín. se observa una variación importante en el caudal suministrado en relación a cada calibración.

La calibración 7 expuesta en la tabla 31, es la que proporciona un caudal aproximado al caudal ideal, esto indica que, a una presión de 200 bares, es la indicada para el trabajo en el motor evitando emisiones, así como un excesivo consumo de combustible.

El uso de una tobera a 250 bares de operación influyó directamente en el caudal en relación a una tobera a 200 bares de operación con una variación mínima.

El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina

4.2.9 Prueba en clear

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 200 bares para verificar el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina, adicional a la utilización de una tobera nueva y una usada.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Cabe indicar que se realizaron tres pruebas en cada estado de calibración considerando tanto la tobera nueva a 250 bares como la usada a 200 bares, para obtener

una mejor apreciación de los parámetros del caudal inyectado y un mejor análisis se realiza con el valor promedio.

Tabla 35

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 200 bares con una variación de calibración del inyector

Calibración	Caudal mín. ml/min	Caudal máx. ml/min	Caudal ideal ml/min	Prueba 1 ml/min	Prueba 2 ml/min	Prueba 3 ml/min	Caudal de inyección promedio ml/min
1	0	200	100	2,48	2,14	1,69	2,10
2	0	200	100	3,38	3,15	3,83	3,45
3	0	200	100	4,84	4,28	4,16	4,43
4	0	200	100	3,60	3,60	3,94	3,71
5	0	200	100	4,48	4,84	4,95	4,76
6	0	200	100	4,95	5,40	5,74	5,36
7	0	200	100	7,20	8,33	6,87	7,47
8	0	200	100	8,78	8,44	9,45	8,89
9	0	200	100	4,61	3,83	5,18	4,54
10	0	200	100	3,15	3,15	3,49	3,26

En la Tabla 35 se muestran los datos resultantes de las pruebas del inyector HEUI 3126 a una presión de 200 bares, al variar el recorrido de la válvula Poppet y distancia de armadura, así como el uso de una tobera nueva y una usada.

Se efectuaron 3 pruebas en las cuales no existe una variación significativa en los valores de caudal entregados, por tanto, no se hace necesario la valoración del caudal promedio.

Se observa el caudal máximo de 8,89 ml/mín. con la calibración 8 expresada en la tabla 31 y un caudal mínimo de 2,10 ml/mín. con la calibración 1 de la misma tabla.

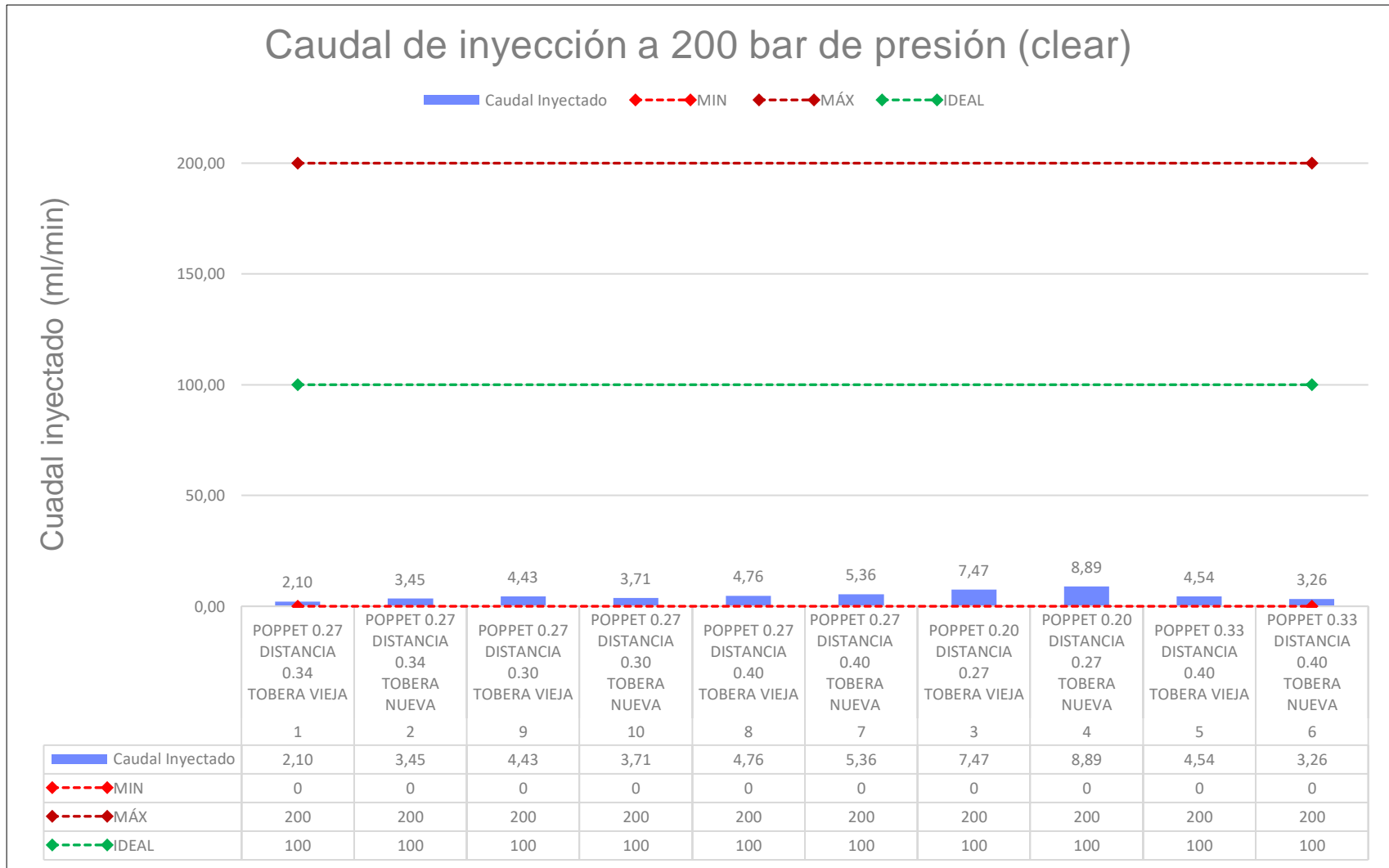


Figura 50. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a clear, con la variación de calibración de la distancia del recorrido de la válvula Poppet y la distancia entre armadura y bobina

En la figura 50 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 200 bares de clear, en donde, los caudales de todas las calibraciones se encuentran dentro del rango mínimo y máximo permitido para esta prueba que va desde hasta 200 ml/mín. respectivamente, siendo el ideal 100 ml/mín.

El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina

Es importante mencionar que esta prueba fue adicional, ya que no influye en el trabajo del motor, sino que permite al profesional verificar el correcto funcionamiento del inyector antes de ser instalado en el vehículo.

4.3 Análisis mecánico en el banco de comprobación de inyectores HEUI-ESPE

En este apartado se analizó el comportamiento el inyector HEUI 3126 en el banco de comprobación de inyectores que se encuentra en el Laboratorio de Motores ESPE, el cual posee 3 tipos de pruebas en su modo automático, además permitió variar la presión de funcionamiento.

- Prueba A TH 1500us
- Prueba B TH 1500us
- Prueba C TH 700us

4.3.1 Calibración del inyector para el banco de comprobación HEUI-ESPE

La calibración de inyector fue la misma utilizada en el banco DONGTAI CR-816, con la diferencia que se utilizó solo la tobera nueva para fines prácticos.

Tabla 36

Calibración del inyector HEUI para el banco de comprobación HEUI-ESPE

Calibración	Recorrido válvula Poppet mm	Distancia entre armadura bobina mm	Presión de tobera bar
1	0,27	0,34	250
2	0,27	0,30	250

CONTINÚA 

3	0,27	0,40	250
4	0,20	0,27	250
5	0,33	0,40	250

4.3.2 Prueba a baja carga (ralentí)

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 1160 psi en la prueba C con un ancho de pulso en alto de TH= 700 ms, y se verificó el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Tabla 37

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector

Calibración	Cantidad de inyección (ml)	Tiempo de inyección (s)	Caudal (ml/mín.)
1	74	32,41	106,41
2	146	34,4	180,4
3	98	32,9	130,9
4	150	37,02	187,02
5	168	33,76	201,76

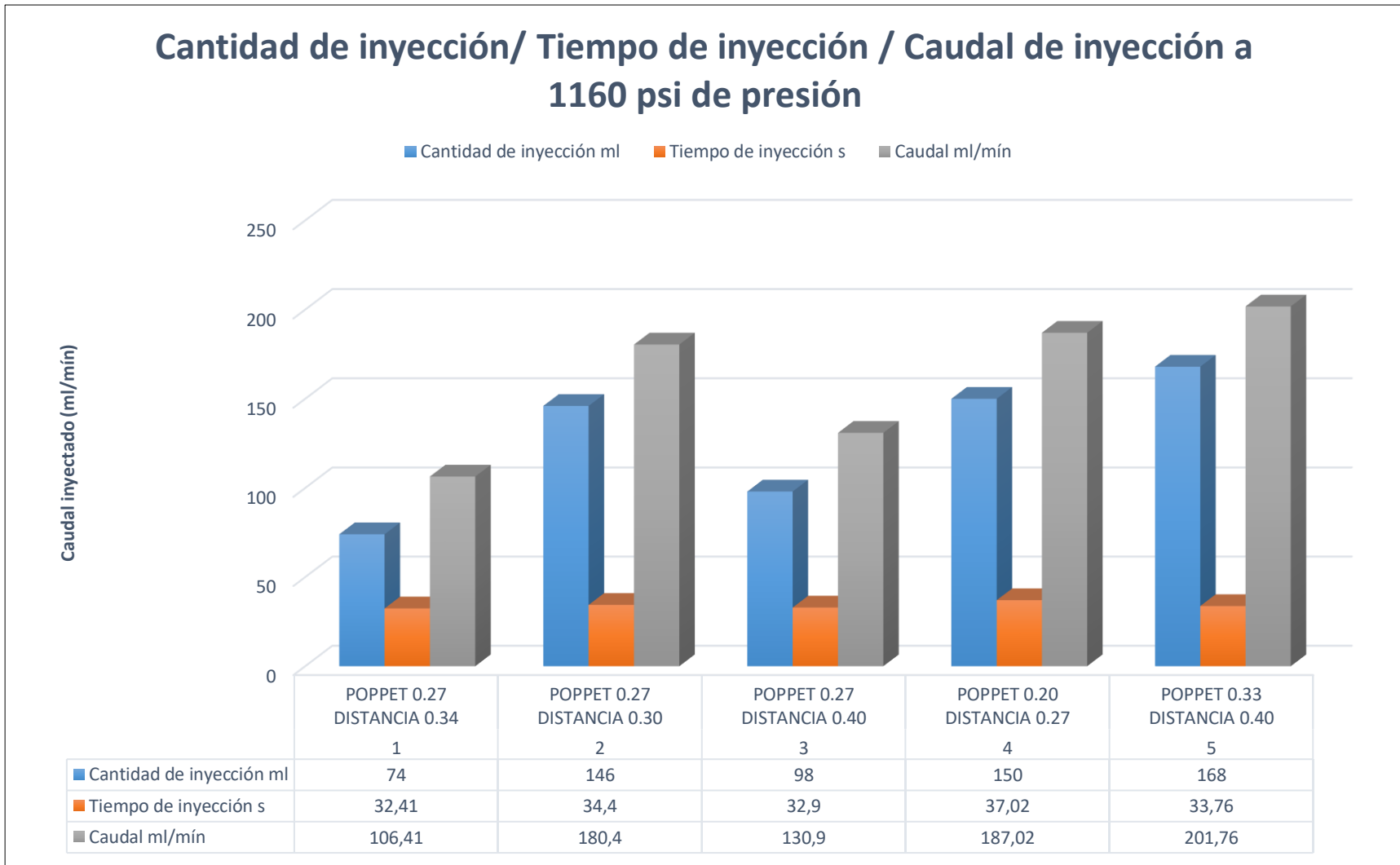


Figura 51. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección

En la Figura 51 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 1160 psi donde, el tiempo de inyección tiene una mínima variación, siendo el máximo de 37,02 s y el mínimo de 32,41 s.

La cantidad de inyección fue la que presentó mayor variación en relación a la calibración, siendo la mayor cantidad de 168 ml con la calibración 5 expuesta en la tabla 36. El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina.

4.3.3 Prueba media carga

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 1500 psi en la prueba B con un ancho de pulso en alto de TH= 1500 ms, y se verificó el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Tabla 38

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector

Calibración	Cantidad de inyección (ml)	Tiempo de inyección (s)	Caudal (ml/mín.)
1	150	32,56	182,56
2	190	34,84	224,84
3	154	32,96	186,96
4	144	35,8	179,8
5	214	35,84	249,84

Cantidad de inyección/ Tiempo de inyección / Caudal de inyección a 1500 psi de presión

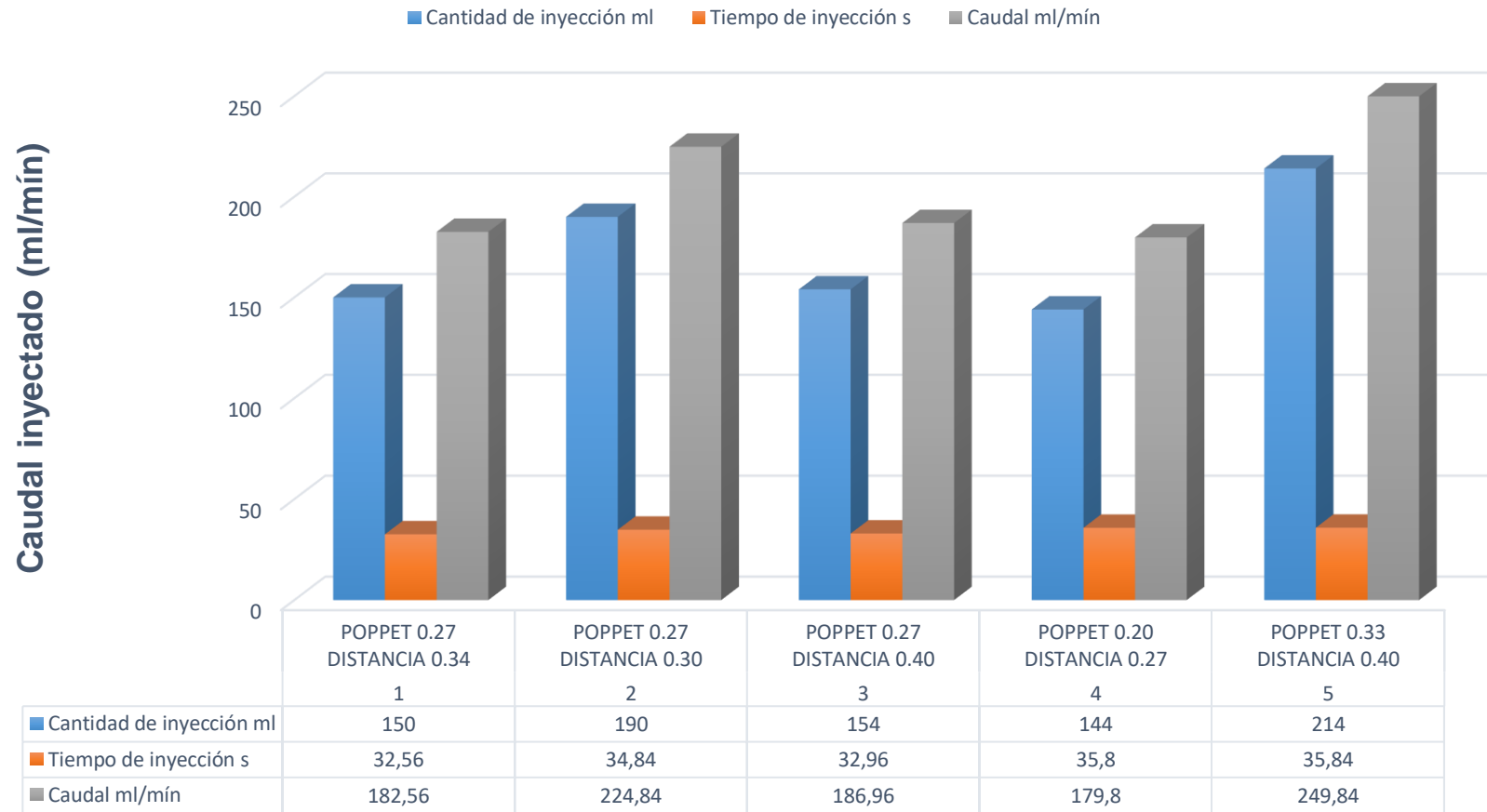


Figura 52. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1500 psi con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección

En la Figura 52 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 1500 psi donde, el tiempo de inyección tiene una mínima variación, siendo el máximo de 35,84 s y el mínimo de 32,56 s.

La cantidad de inyección fue la que presenta mayor variación en relación a la calibración, siendo la mayor cantidad de 214 ml con la calibración 5 indicada en la tabla 36. El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina.

4.3.4 Prueba alta carga

Se sometió al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 2000 psi en la prueba B con un ancho de pulso en alto de TH= 1500 ms, y se verificó el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Tabla 39

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector

Calibración	Cantidad de inyección (ml)	Tiempo de inyección (s)	Caudal (ml/mín.)
1	154	32,42	285,01
2	204	33,52	365,16
3	156	32,28	289,96
4	124	34,64	214,78
5	258	35,64	434,34

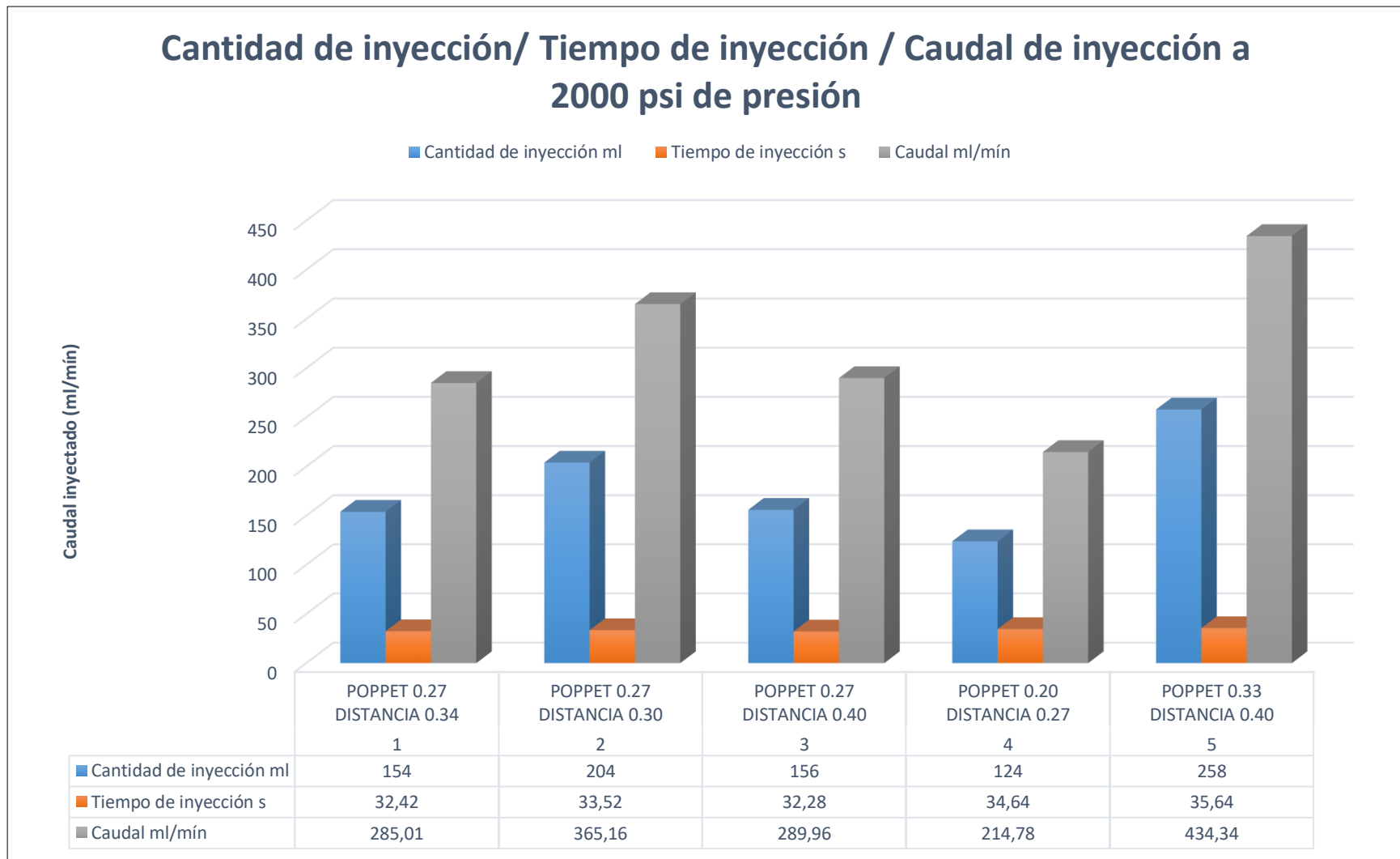


Figura 53. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 2000 psi con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección

En la Figura 53 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 1500 psi donde, el tiempo de inyección tiene una mínima variación, siendo el máximo de 35,64 s y el mínimo de 32,28 s.

La cantidad de inyección fue la que presenta mayor variación en relación a la calibración, siendo la mayor cantidad de 258 ml con la calibración 5 mostrada en la tabla 36. El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina.

4.3.5 Prueba de limpieza

Se somete al inyector HEUI 3126, a una presión de aceite constante de 1500 psi para verificar el caudal de inyección en relación a la variación de calibración tanto en el recorrido de la válvula Poppet como en la distancia entre la armadura y la bobina.

Esta variación de calibración de la válvula Poppet va (0.20-0.27-0,34) mm con una tolerancia de calibración de 0.01mm, y para la distancia de la armadura va desde (0.27-0.30-0.40-0.34-0.41) mm considerando la tolerancia de 0.01mm.

Tabla 40

Prueba del inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1160 psi con una variación de calibración del inyector

CALIBRACION	Cantidad de inyección (ml)	Tiempo de inyección (s)	Caudal (ml/mín.)
1	38	10,53	48,53
2	34	7,4	41,4
3	34	8,5	42,5
4	50	9,5	59,5
5	70	11,65	81,65

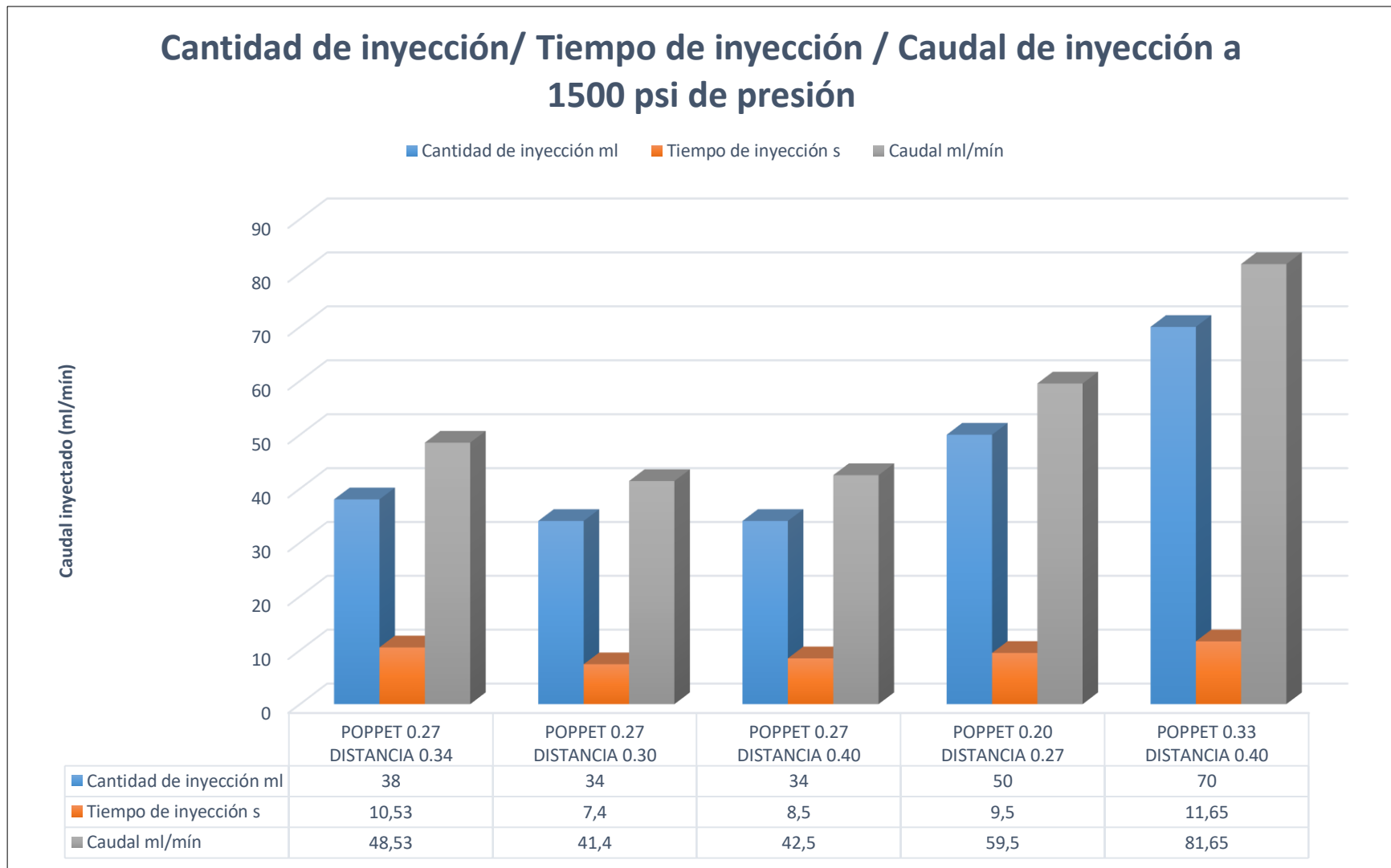


Figura 54. Pruebas sometidas al inyector HEUI 3126 a una presión constante de 1500 psi (limpieza) con variación de calibración del inyector, apreciando la cantidad y el tiempo de inyección

En la Figura 54 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas a presión de 1500 psi donde, el tiempo de inyección tiene una mínima variación, siendo el máximo de 7,4 s y el mínimo de 11,64 s.

La cantidad de inyección fue la que presenta mayor variación en relación a la calibración, siendo la mayor cantidad de 70 ml con la calibración 5 indicada en la tabla 36. El caudal fue afectado directamente por la calibración del recorrido de la válvula Poppet e inversamente por la calibración de la distancia entre armadura y bobina.

Es importante mencionar que esta prueba fue adicional, ya que no influye en el trabajo del motor, sino que permite al profesional verificar el correcto funcionamiento del inyector antes de ser instalado en el vehículo

4.4 Validación de calibración

Posterior al análisis independiente de los caudales entregados a las diferentes presiones de operación, se hizo necesario la validación de la calibración más óptima para el funcionamiento adecuado del motor.

Para ello, se definió los criterios de valor cualitativos a la característica de caudales entregados y se asigna valores cuantitativos para determinar la calibración adecuada.

Insuficiente o excesivo = 0

Dentro del rango = 1

Aproximado al ideal = 2

Se asignan a los resultados criterios de valoración cualitativo que van acorde a:

Viable = 6-4

Revisar = 3

Descartar = 2-0

Tabla 41*Valoración de calibración con criterios cuantitativos*

Presión de Operación (Bar)	Calibración									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	1	1	2	2	2	2	0	0	2	1
150	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
200	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1
Total	4	4	3	3	2	2	2	1	4	2

En la Tabla 41 se observa los criterios de valoración asignados en cada fase de operación del inyector en función de su calibración.

Se observó que la calibración 1 y 2 expuestas en la tabla 31 cumplen con la valoración de viable, lo que permitió fundamentar que dicha calibración es la adecuada para un correcto funcionamiento del motor evitando emisiones y un consumo excesivo de combustible.

No obstante, la calibración 9 indicada en la tabla 31 presentó el mismo criterio de valoración, para este caso se analizó otros criterios como la carga a la que trabaja un motor con este tipo de inyectores. Por consiguiente, se descartó esta calibración ya que estos motores, comúnmente se encuentran trabajando de media y alta carga.

Por otra parte, las calibraciones 3 y 4 mostradas en la tabla 31 cumplen con el criterio de revisar, por ende, se analizan otros factores como la carga a la que se somete el motor, y ya que tiene un criterio de valor 0 a media carga, por lo cual se descarte esta calibración.

4.5 Comprobación y análisis del comportamiento eléctrico del inyector HEUI

4.5.1 Voltaje y corriente de activación (atrancamiento)

En este proceso se conectó al inyector a la fuente de atrancamiento automática ZEMTEC CR-370, que permitió visualizar el voltaje y corriente mínima que necesita el inyector para activarse.

Tabla 42

Voltaje y corriente de activación de inyector HEUI 3126 con variación en la calibración del inyector

Calibración	Voltaje (V)	Corriente (A)	Inductancia mH	Resistencia (Ω)
1	11,16	3,1	9,27	3
2	9,33	2,67	8,42	3,1
3	12,72	3,46	7,88	3,2
4	12,21	3,4	9,32	3
5	9,33	2,63	7,32	3

En la Tabla 42 se muestran los datos resultantes de las pruebas de atracamiento del inyector HEUI 3126 al variar el recorrido de la válvula Poppet y distancia de armadura, así como el uso de una tobera nueva y una usada.

Se observa que el voltaje mínimo de activación es de 9,33 voltios que se da con la calibración 5 de la tabla 36, y el voltaje máximo de 12,72 voltios dada por la calibración 3. Adicional se observa que la corriente mínima consumida por el inyector para ser activado es de 2,63 amperios con la calibración 5 mostrada en la tabla 36, y la corriente máxima 3,46 amperios dada por la calibración 3 de la misma tabla.

Se comprobó el estado de la bobina de cada inyector, con un valor de resistencia de 3.06 ohmios y un valor de inductancia que se ve afectado por la calibración por ende se tiene una inductancia mínima de 7,32 mH con la calibración 5 de la tabla 36 y una inductancia máxima de 9.32 mH dada por la calibración 4 de la misma tabla.

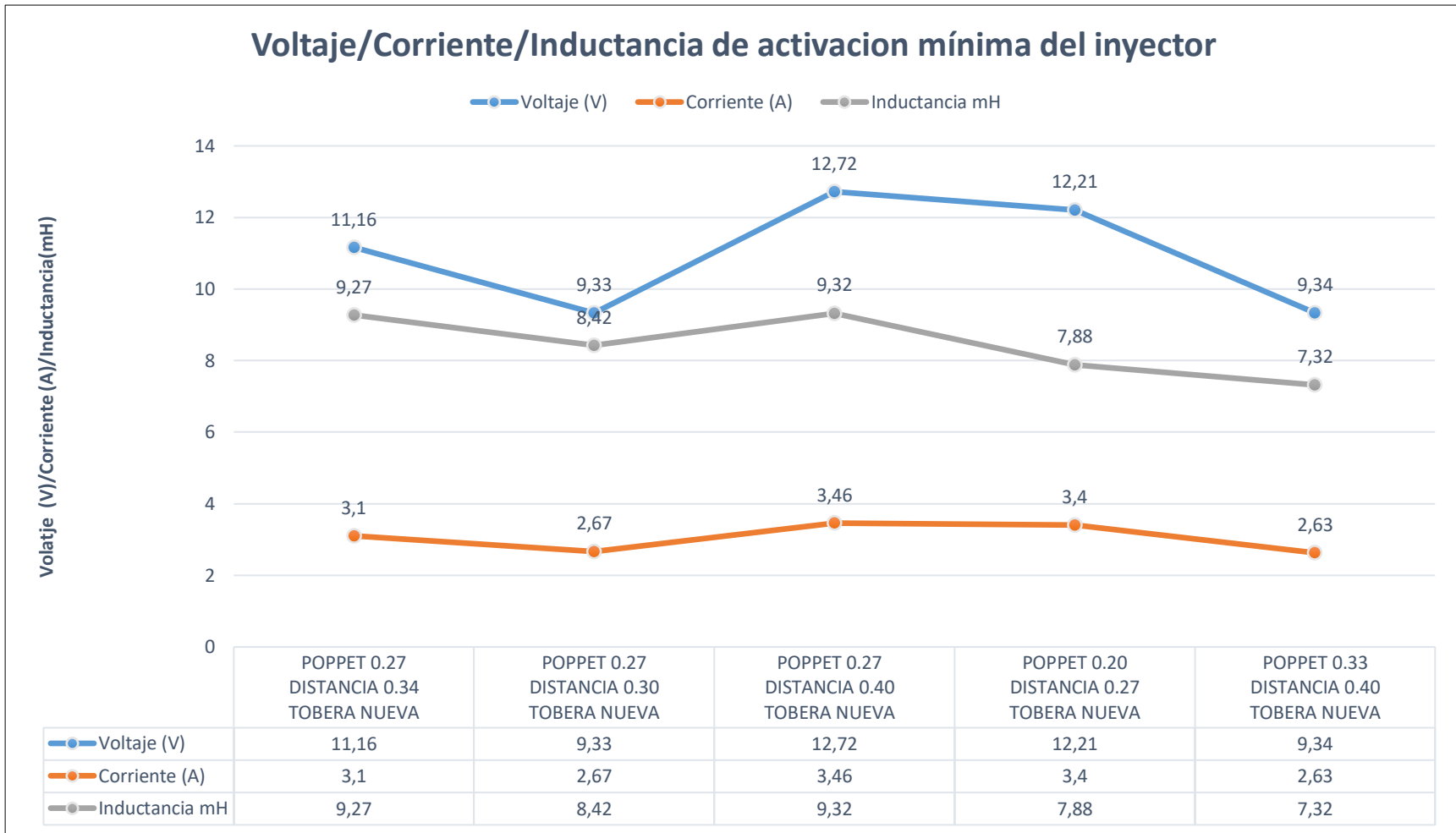


Figura 55. Pruebas de atracamiento e inductancia sometidas al inyector HEUI 3126 con variación de calibración del inyector, apreciando voltaje, corriente e inductancia de activación.

En la Figura 55 se encuentran los datos obtenidos en las pruebas de atracamiento y medición de inductancia, se puede apreciar el comportamiento de la curva de voltaje varia directamente proporcional a la calibración de la distancia armadura bobina, mientras que varía inversamente proporcional a la calibración de la válvula Poppet.

En este sentido se observa que la corriente tiende a variar directamente proporcional a la calibración de la distancia armadura bobina, mientras que varía inversamente proporcional a la calibración de la válvula Poppet.

Por otra parte, la inductancia de cada bobina se obtiene de un proceso diferente con el inyector armado, la curva muestra un comportamiento similar a las magnitudes anteriores siendo afectada directamente proporcional a la calibración de la distancia armadura bobina, mientras que varía inversamente proporcional a la calibración de la válvula Poppet.

4.6 Oscilogramas de voltaje y de corriente del inyector HEUI

A continuación, se muestra los diferentes oscilogramas tanto de voltaje como de corriente en forma separada, seguidamente se mostrará el oscilograma de corriente y de voltaje unido para percibir la similitud o diferencia existente entre los dos.

Cabe recalcar que para todas las pruebas de calibración realizadas al inyector los oscilogramas comparten la misma similitud en toda la forma de onda, el parámetro que influyó en la onda fue la presión de operación y la distancia entre placas existente.

4.6.1 Elementos del oscilograma de voltaje y corriente

El análisis electrónico de los inyectores HEUI se realizó a través de la interpretación de oscilogramas de voltaje y de corriente, obtenidos en el banco comprobación de

inyectores HEUI-ESPE, estos oscilogramas variaran de acuerdo a las calibraciones expuestas en la tabla 36 y a las pruebas que se encuentran sometidos los inyectores.

En la figura se detallan de los parámetros que conforma el oscilograma de voltaje.

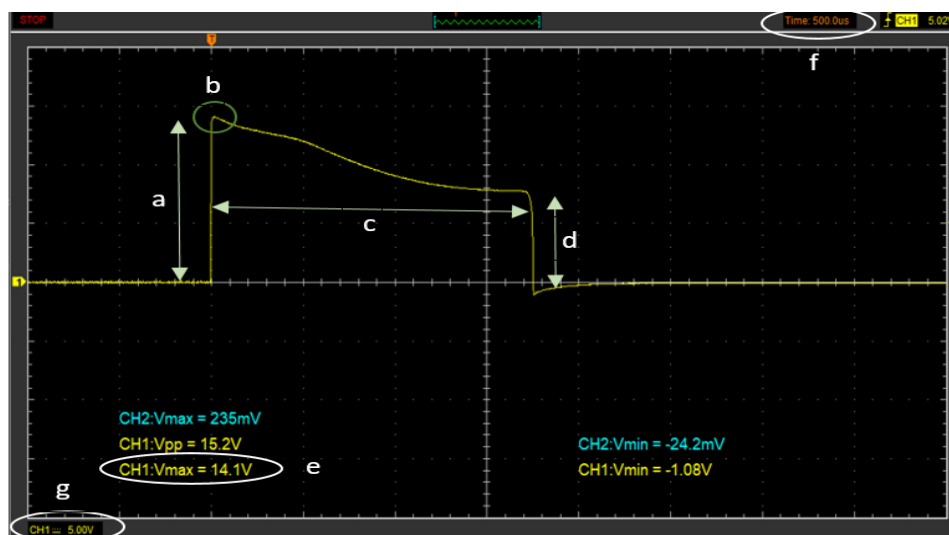


Figura 56. Elementos del oscilograma de voltaje del inyector HEUI 3126

- a) Es el recorrido vertical que representa el inicio de la activación del inyector
- b) Punto máximo donde se produce el tiempo de disparo del inyector
- c) Distancia la cual representa el tiempo de retención que realiza el inyector
- d) El recorrido vertical que representa la caída de voltaje o el fin la inyección.
- e) Representa el voltaje máximo de activación del inyector
- f) Indica el valor de calibración que se puede realizar en el osciloscopio en el eje "Y" y se ve representado por los voltios.
- g) Indica el valor de calibración que se puede realizar en el osciloscopio en el eje "X" y se ve representado por la línea de tiempo.

De la misma manera se tiene los parámetros que genera la onda u oscilograma de corriente el cual tiene el mismo periodo que el oscilograma de voltaje y se detalla a continuación.

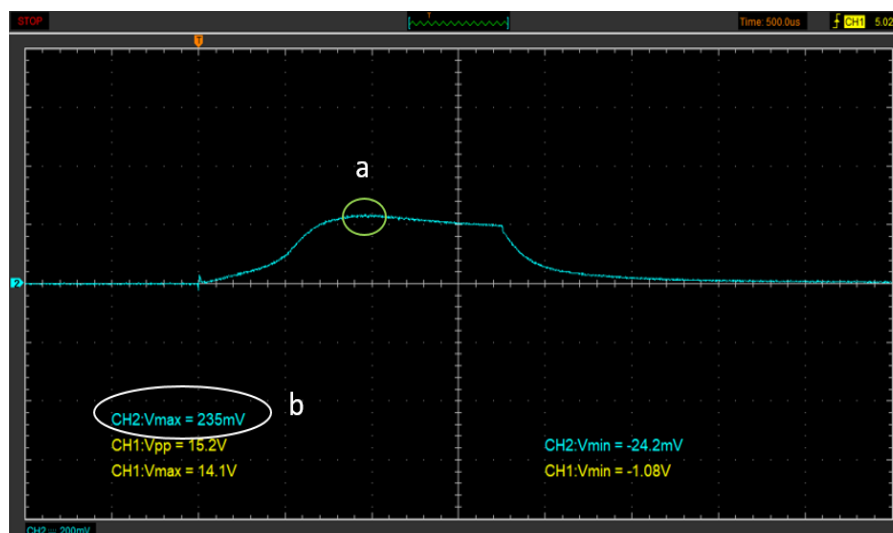


Figura 57. Elementos del oscilograma de corriente del inyector HEUI 3126

- a) Indica el momento del disparo del inyector en el oscilograma de corriente
- b) Representa el amperaje máximo de disparo del inyector

Cabe recalcar que para obtener este resultado de amperaje se realizó una conversión de acuerdo a la posición en la que se haya colocado la pinza amperimétrica en este caso tiene la equivalencia 10 mV igual a 1 amperio.

4.6.2 Valores máximo y mínimo en el oscilograma de voltaje

Tabla 43

Valores máximo y mínimo en el oscilograma de voltaje

Calibración	2000 psi			1500 psi			1160 psi		
	V máx. (mV)	V mín. (mV)	Vpp (mV)	V máx. (mV)	V mín. (mV)	Vpp (mV)	V máx. (mV)	V mín. (mV)	Vpp (mV)
1	149	-09,18	159	158	-10,9	169	144	-131	158
2	141	-10,8	152	155	-10,8	166	142	-133	155
3	144	-09,96	154	149	-10,9	16	141	-142	155
4	141	-10,2	152	153	-10,4	163	141	-139	155
5	144	-11,6	156	156	-11,4	167	14	-115	155

La tabla 44 indica los valores máximo y mínimo del oscilograma de voltaje a diferente presión de operación y acorde las distintas calibraciones del inyector HEUI 3126.

4.6.3 Valores de voltaje máximo y mínimo en el oscilograma de corriente

Tabla 44

Valores máximo y mínimo en el oscilograma de corriente

Calibración	2000		1500		1160	
	A máx.	A mín.	A máx.	A mín.	A máx.	A mín.
1	22,9	-10,5	24,7	-5,74	26,4	-9,46
2	23,5	-2,42	25,3	-12,9	26,1	-5,47
3	21,8	-10,8	25	-10,8	23,1	-9,65
4	20,9	-8,01	22,5	-9,77	24,9	-7,81
5	22,2	-6,84	23,1	-4,38	25	-12

En la tabla 45 se detallan los valores de voltaje máximo y mínimo en el oscilograma de corriente a diferente presión de operación en relación a las diferentes calibraciones expresadas en la tabla 36.

4.6.4 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 1 a 2000psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 2000 psi con la calibración 1 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.34 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

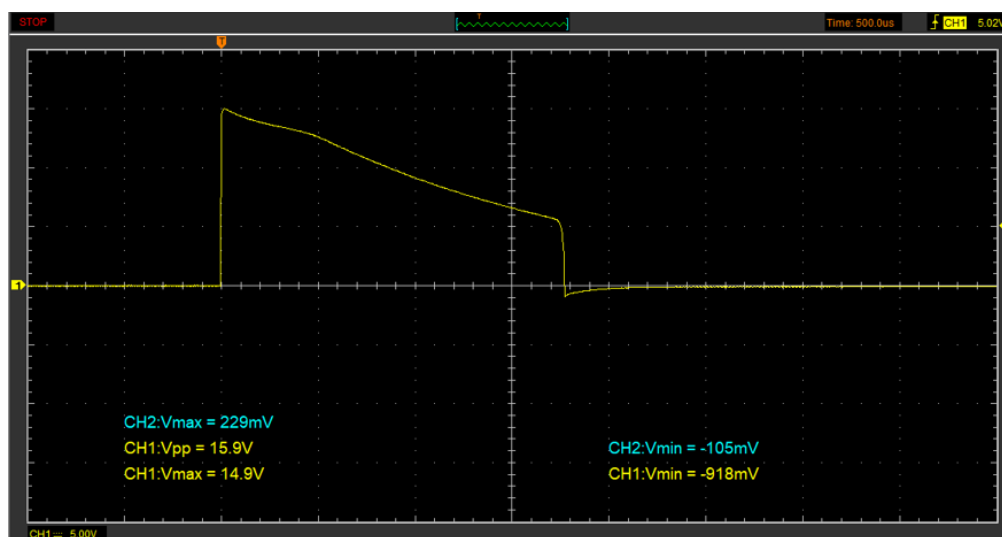


Figura 58. Oscilograma de voltaje con calibración 1 y presión de 2000 psi

En la figura 58, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 149 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar, y obtuvo un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

Se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje "X" y 200 mV por división para el eje "Y"

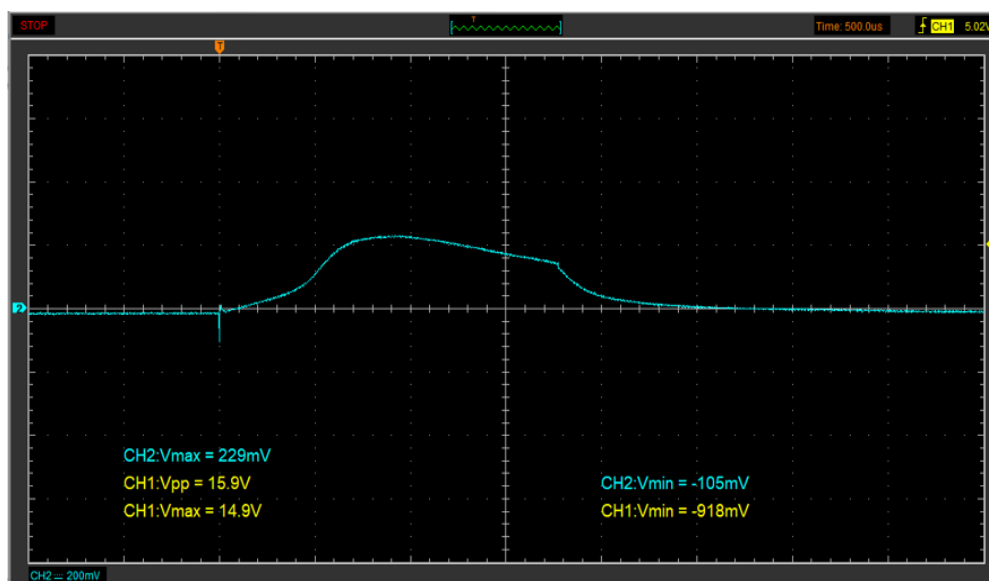


Figura 59. Oscilograma de corriente con calibración 1 y presión de 2000 psi

En la figura 59, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 229 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector, se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mV/1Amp dando como resultado 22.9 amperios en el punto del disparo del inyector.

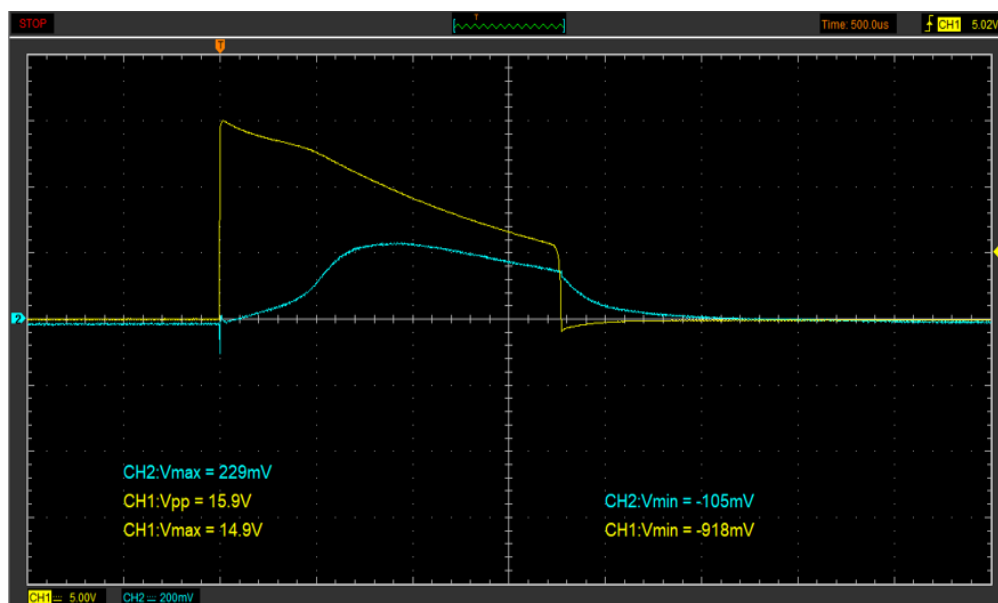


Figura 60. Oscilogramas de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 y presión de 2000 psi

En la figura 60, se puede observar tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.5 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 1 a 1500 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1500 psi con la calibración 1 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.34 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

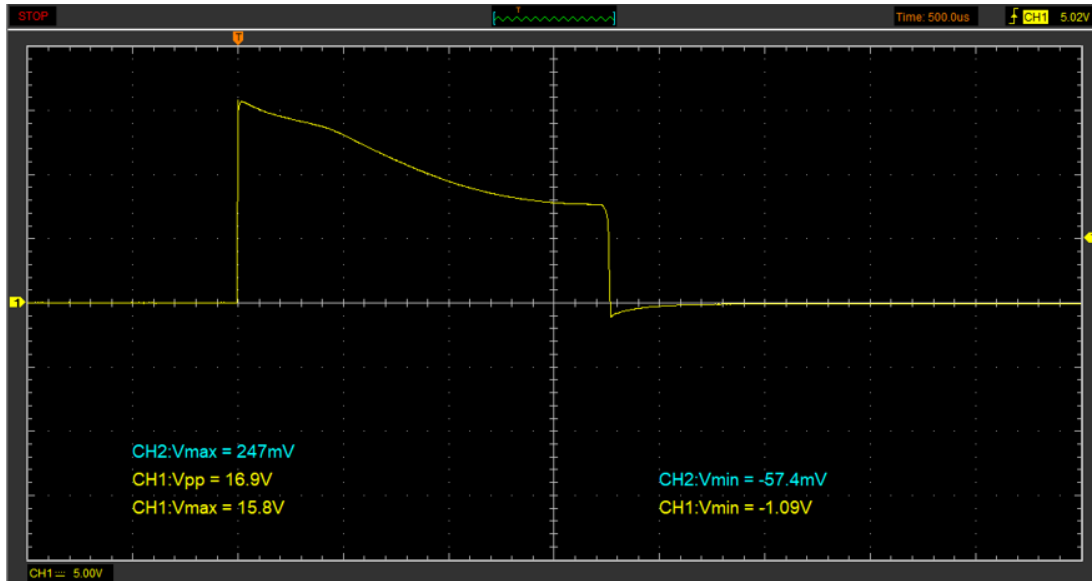


Figura 61. Oscilograma de voltaje con calibración 1 y presión de 1500 psi

En la figura 61, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, el voltaje de activación fue de 158 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analizó que el voltaje de activación aumenta con respecto al oscilograma con presión de operación de 2000 psi y se mantiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

Se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje "X" y 200 mV por división para el eje "Y"

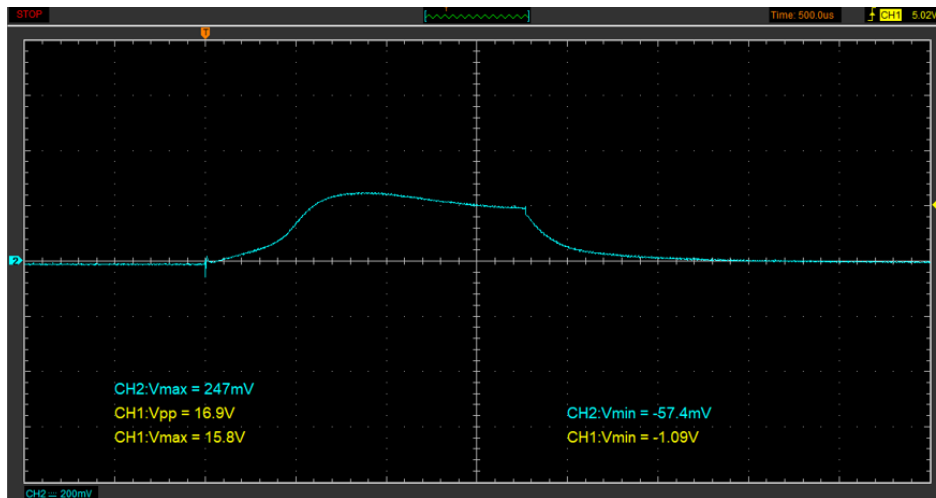


Figura 62. Oscilograma de corriente con calibración 1 y presión de 1500 psi

En la figura 62, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 247 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector, se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 24.7 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

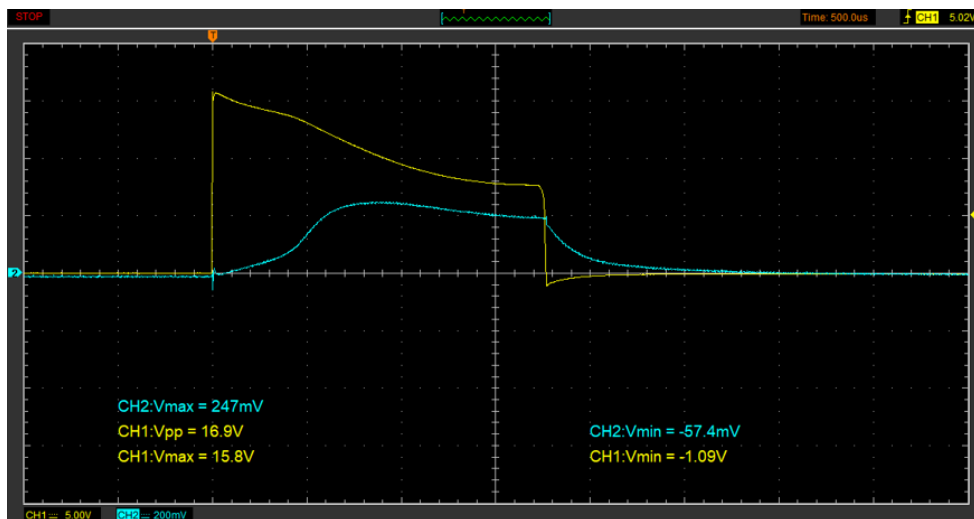


Figura 63. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 a presión de 1500 psi

En la figura 63, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.6 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 1 a 1160 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1160 psi con la calibración 1 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.34 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

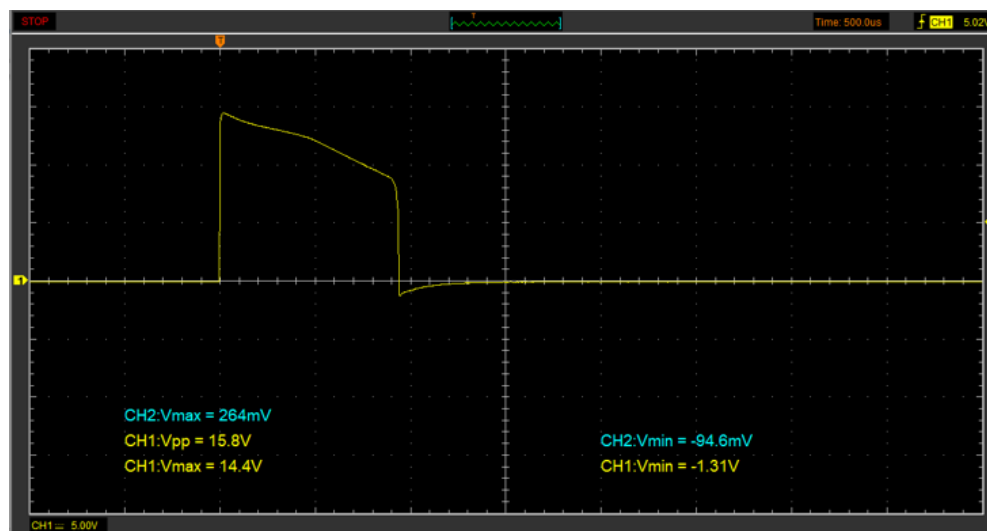


Figura 64. Oscilograma de voltaje con calibración 1 a presión de 1160 psi

En la figura 64, la curva de color amarilla representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 144 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación disminuye con respecto al oscilograma con presión

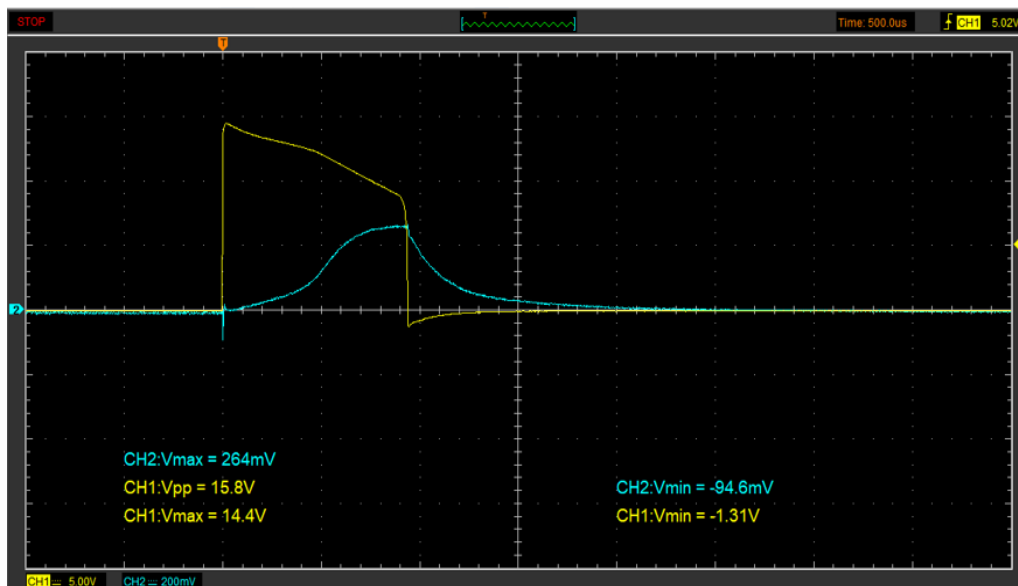


Figura 66. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 a presión de 1160

En figura 66, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.7 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 2 a 2000psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 2000 psi con la calibración 2 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.30 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

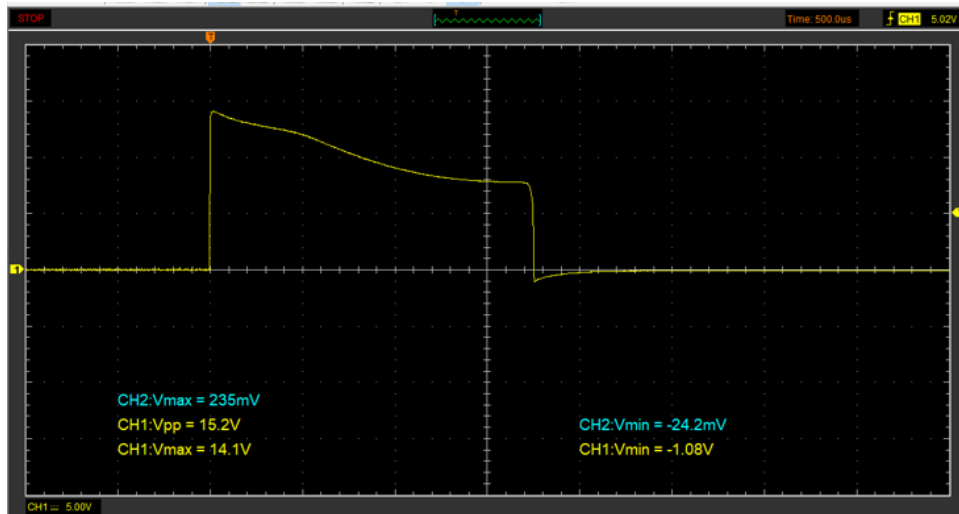


Figura 67. Oscilograma de voltaje con calibración 2 a presión de 2000 psi

En la figura 67, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 141 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar, y se tiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje "X" y 200 mV por división para el eje "Y"

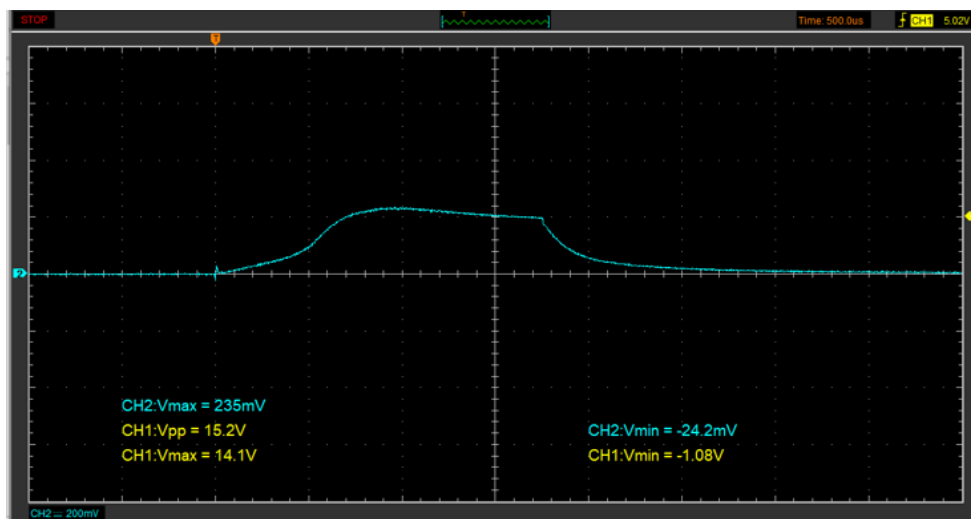


Figura 68. Oscilograma de corriente con calibración 2 a presión de 2000 psi

En la figura 68, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 235 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 23.5 amperios en el punto del disparo del inyector.

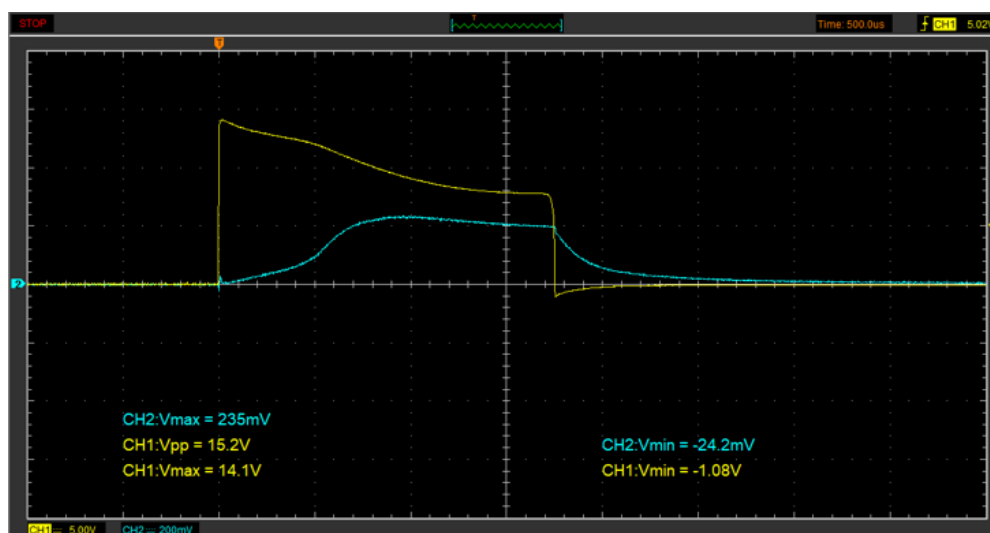


Figura 69. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 2 a presión de 2000 psi

En la figura 69, se puede observar tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.8 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 2 a 1500 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1500 psi con la calibración 2 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet

se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.30 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje “X” y a 5 voltios por división para el eje “Y”.

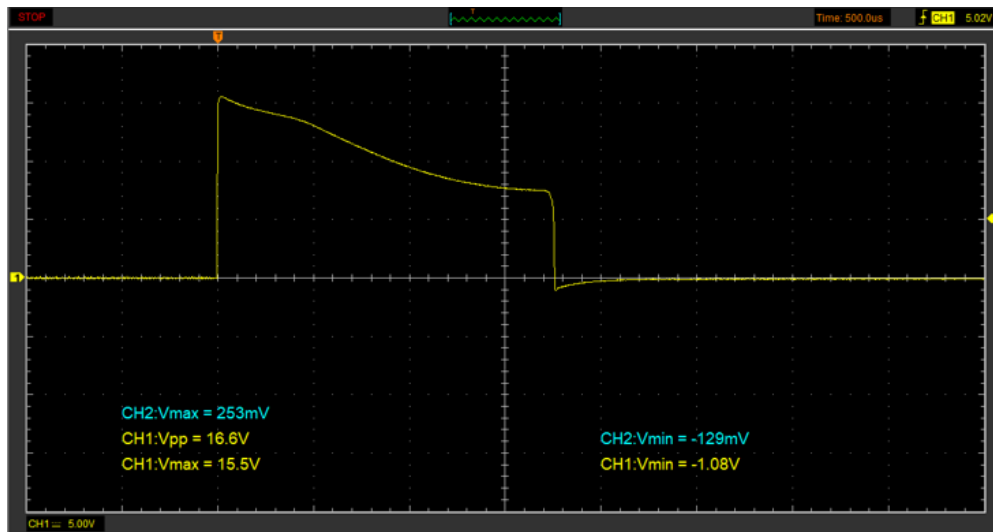


Figura 70. Oscilograma de voltaje con calibración 2 a presión de 1500 psi

En la figura 70, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 155 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación aumenta con respecto al oscilograma con presión de operación de 2000 psi y se mantiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

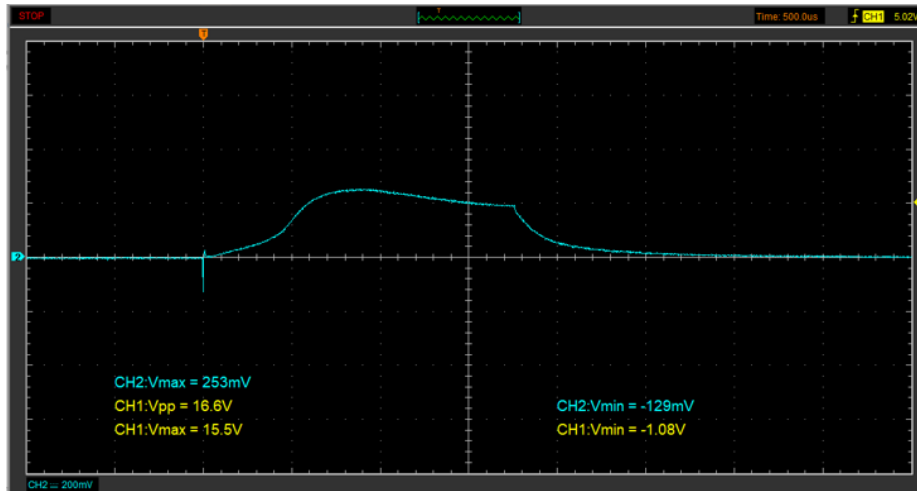


Figura 71. Oscilograma de corriente con calibración 2 a presión de 1500 psi

En la figura 71, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 253 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector, se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 25.3 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

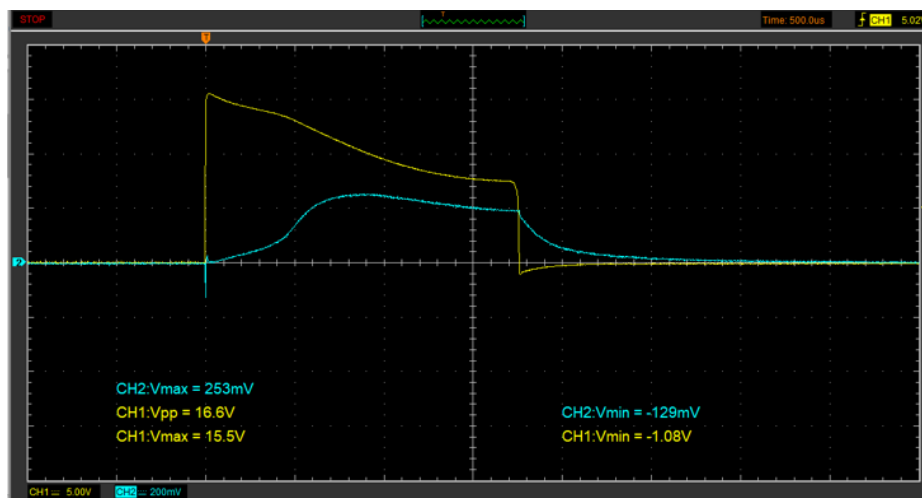


Figura 72. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 2 presión de 1500 psi

En la figura 72, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.9 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 2 a 1160 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1160 psi con la calibración 2 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.30 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

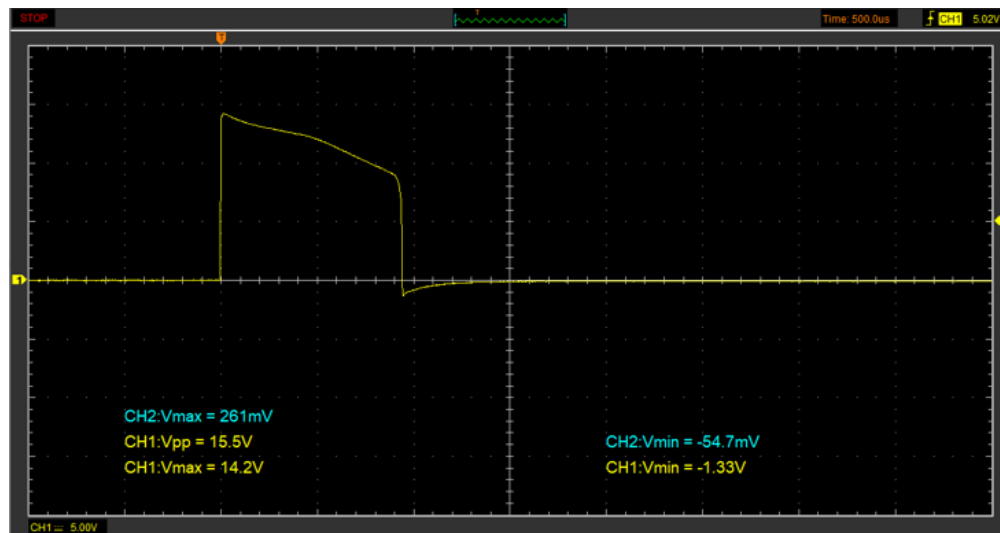


Figura 73. Oscilograma de voltaje con calibración 2 a presión de 1160 psi

En la figura 73, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 142 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación disminuye con respecto al oscilograma con presión

de operación de 2000 psi y el tiempo de encendido del inyector de 0.92 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje "X" y 200 mV por división para el eje "Y"

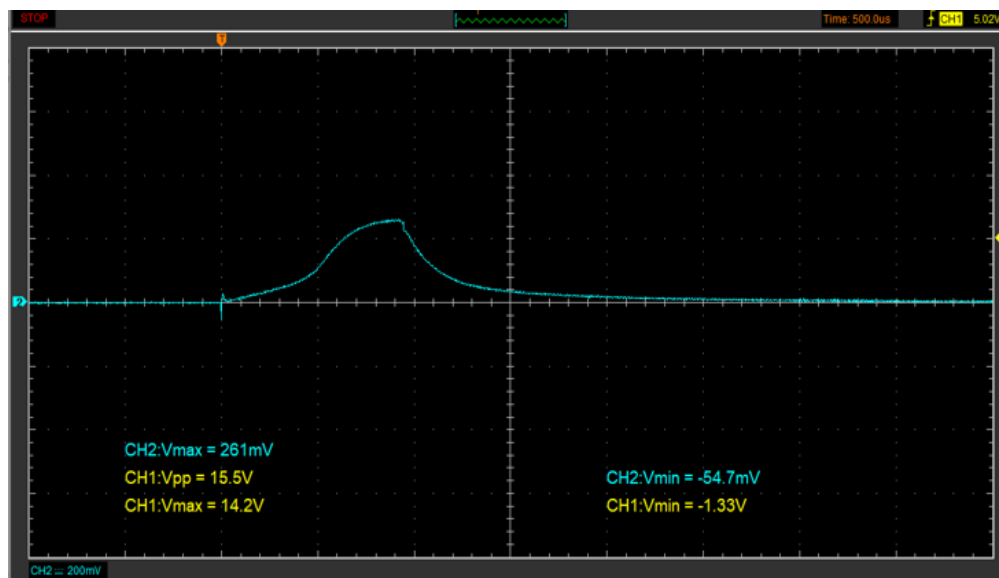


Figura 74. Oscilograma de corriente con calibración 2 a presión de 1160 psi

En la figura 74, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 261 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mV/1Amp dando como resultado 26.1 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

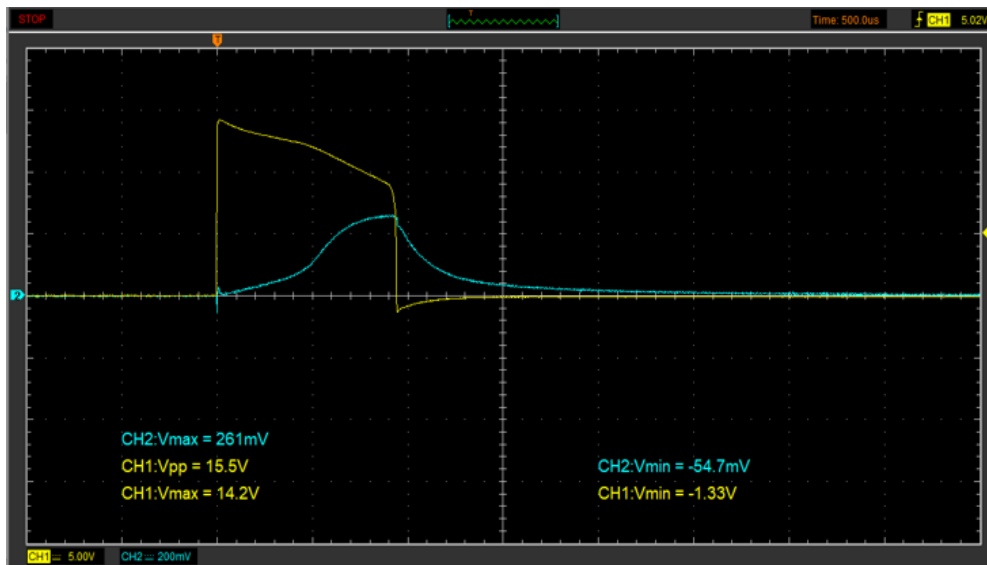


Figura 75. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 1 a presión de 1160 psi

En la figura 75, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.10 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 3 a 2000psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 2000 psi con la calibración 3 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.40 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

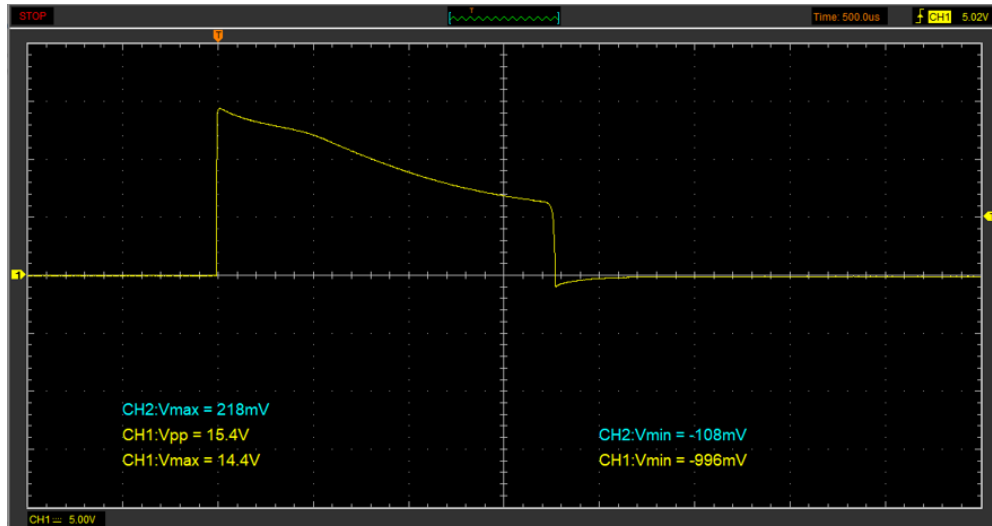


Figura 76. Oscilograma de voltaje con calibración 3 a presión de 2000 psi

En la figura 76, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 144 voltios cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar, y se tiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

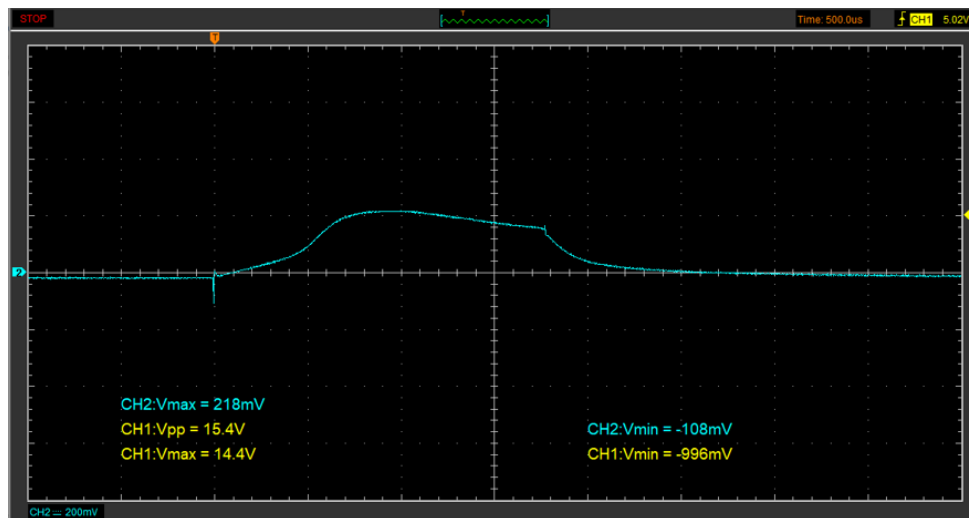


Figura 77. Oscilograma de corriente con calibración 3 a presión de 2000 psi

En la figura 77, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 218 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector, se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 21.8 amperios en el punto del disparo del inyector.

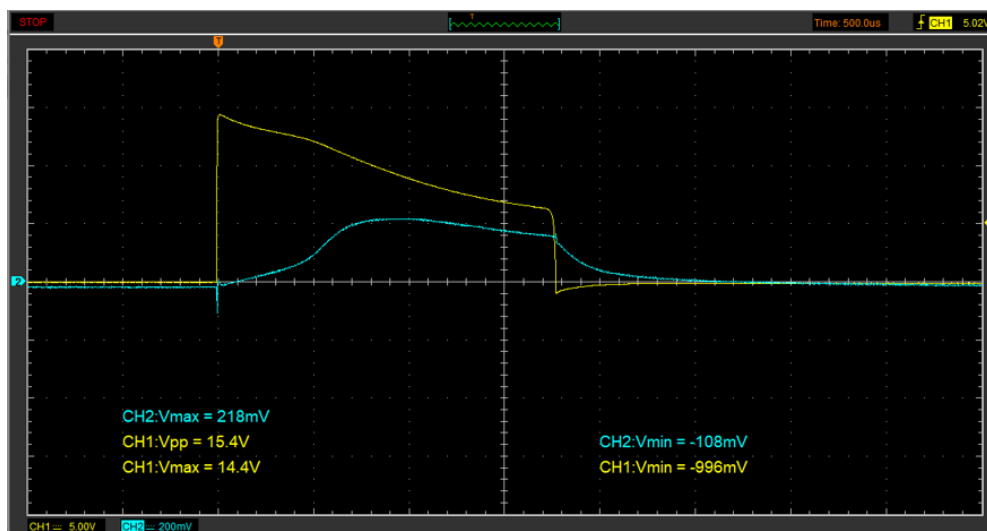


Figura 78. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 3 a presión de 2000 psi

En la figura 78, se puede observar tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.11 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 3 a 1500 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1500 psi con la calibración 3 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet

se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.40 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje “X” y a 5 voltios por división para el eje “Y”.

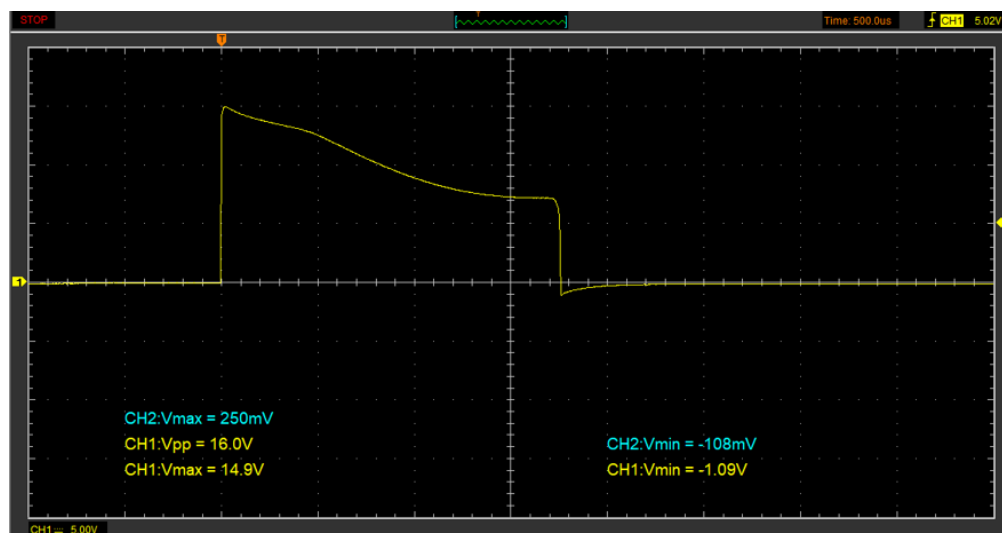


Figura 79. Oscilograma de voltaje con calibración 3 a presión de 1500 psi

En la figura 79, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 149 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación aumenta con respecto al oscilograma con presión de operación de 2000 psi y se mantiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

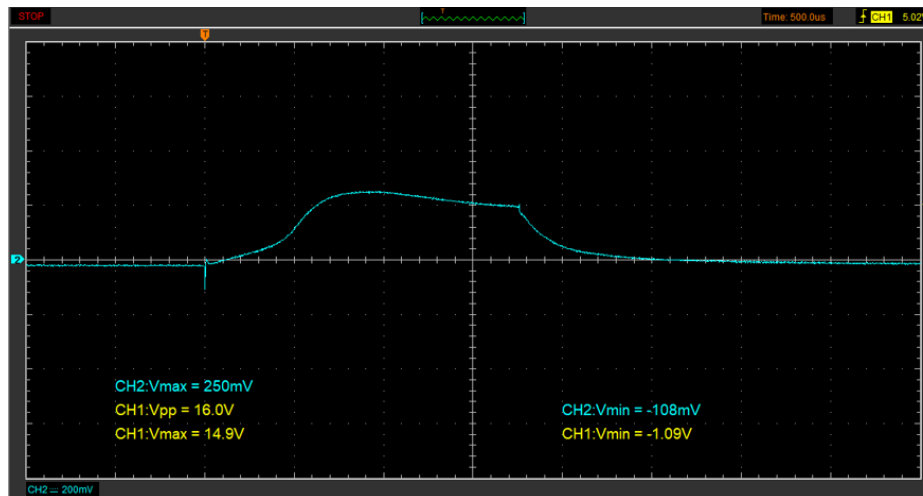


Figura 80. Oscilograma de corriente con calibración 3 a presión de 1500 psi

En la figura 80 la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 250 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 25 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

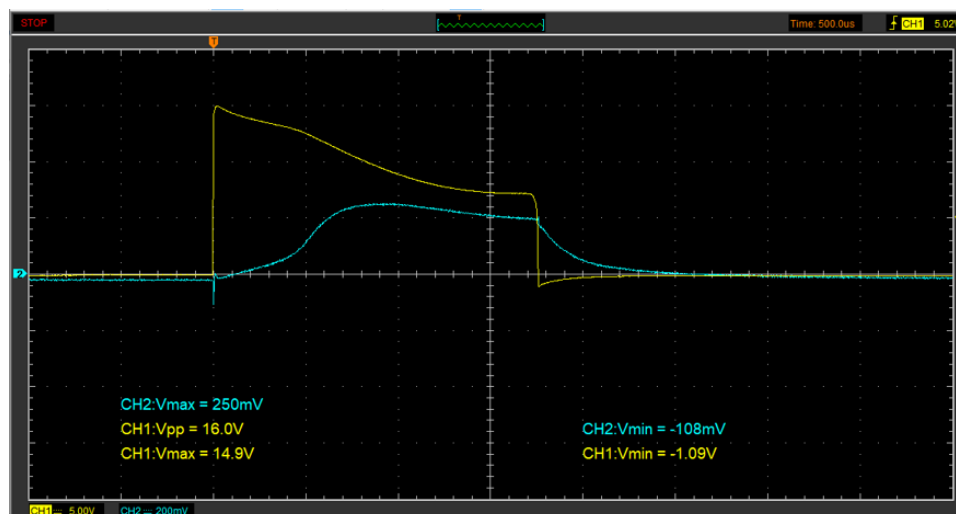


Figura 81. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 3 a presión de 1500 psi

En la figura 81, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.12 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 3 a 1160 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1160 psi con la calibración 3 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.27 mm y la distancia entre placas a 0.40 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

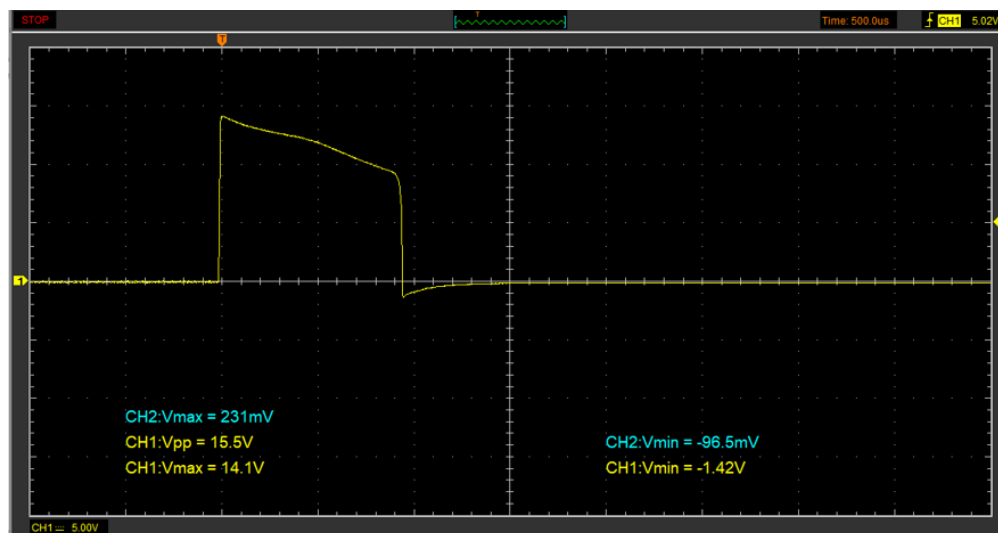


Figura 82. Oscilograma de voltaje con calibración 3 a presión de 1160 psi

En la figura 82, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 141 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación disminuye con respecto al oscilograma con presión

de operación de 2000 psi y el tiempo de encendido del inyector de 0.92 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

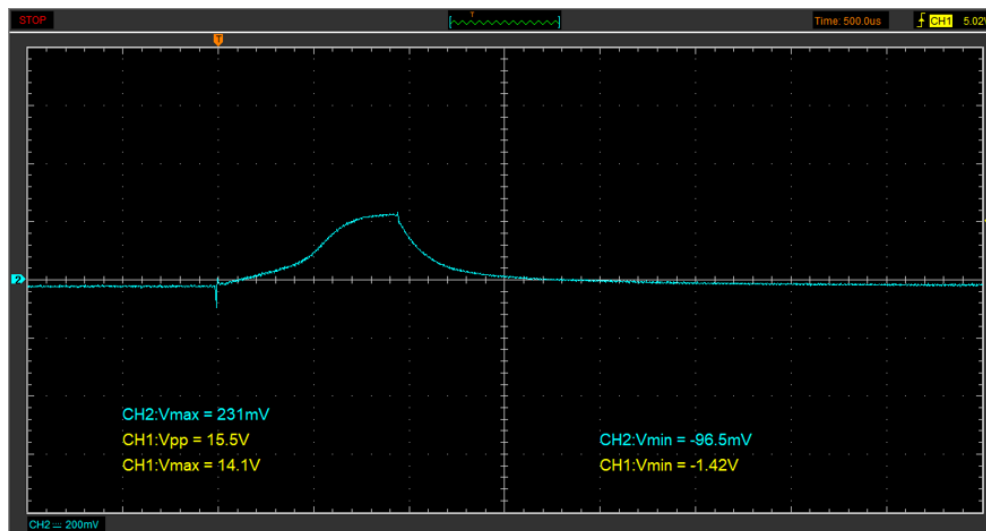


Figura 83. Oscilograma de corriente con calibración 3 a presión de 1160 psi

En la figura 83, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 231 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 23.1 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

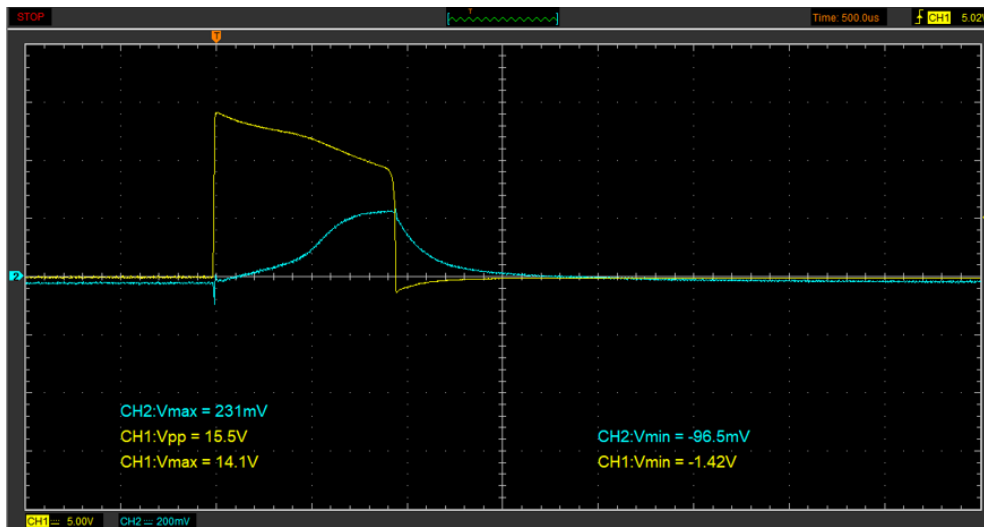


Figura 84. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 3 a presión de 1160 psi

En figura 84, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.13 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 4 a 2000psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 2000 psi con la calibración 4 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.20 mm y la distancia entre placas a 0.27 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

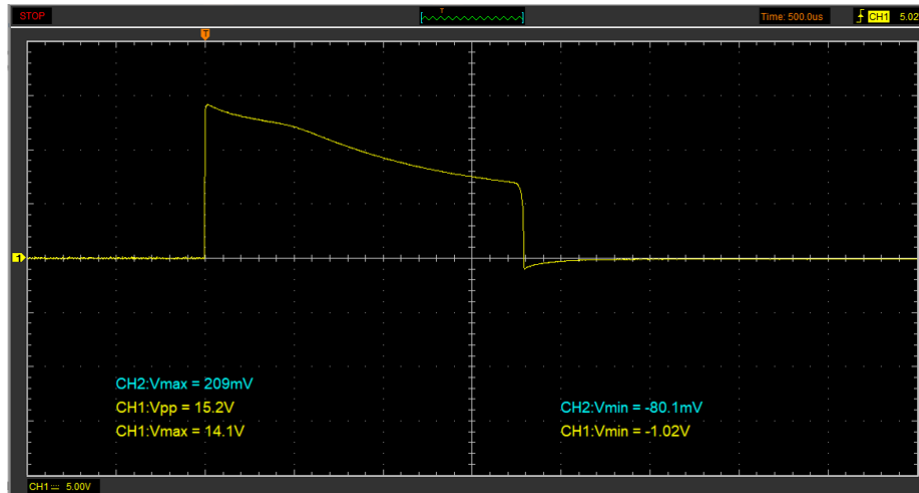


Figura 85. Oscilograma de voltaje con calibración 4 a presión de 2000 psi

En la figura 85, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 141 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar, y se tiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

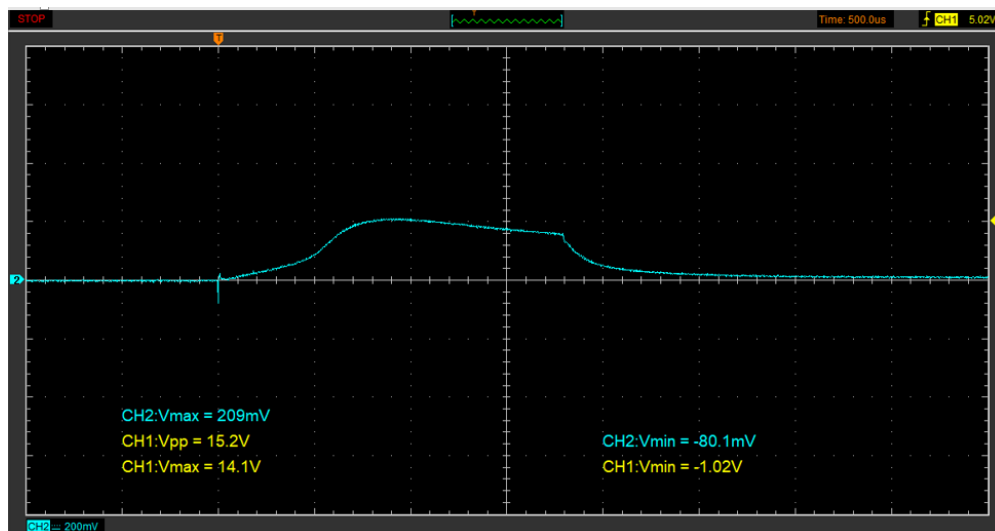


Figura 86. Oscilograma de corriente con calibración 4 a presión de 2000 psi

En la figura 86, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 209 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 20.9 amperios en el punto del disparo del inyector.

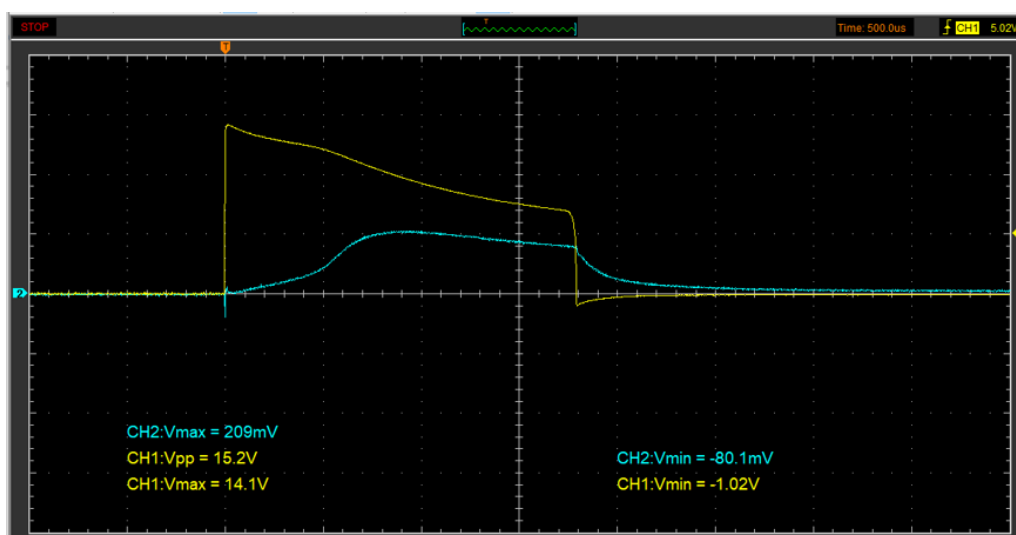


Figura 87. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 4 a presión de 2000 psi

En la figura 87, se puede observar tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.14 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 4 a 1500 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1500 psi con la calibración 4 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet

se encuentra calibrada a 0.20 mm y la distancia entre placas a 0.27 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje “X” y a 5 voltios por división para el eje “Y”.

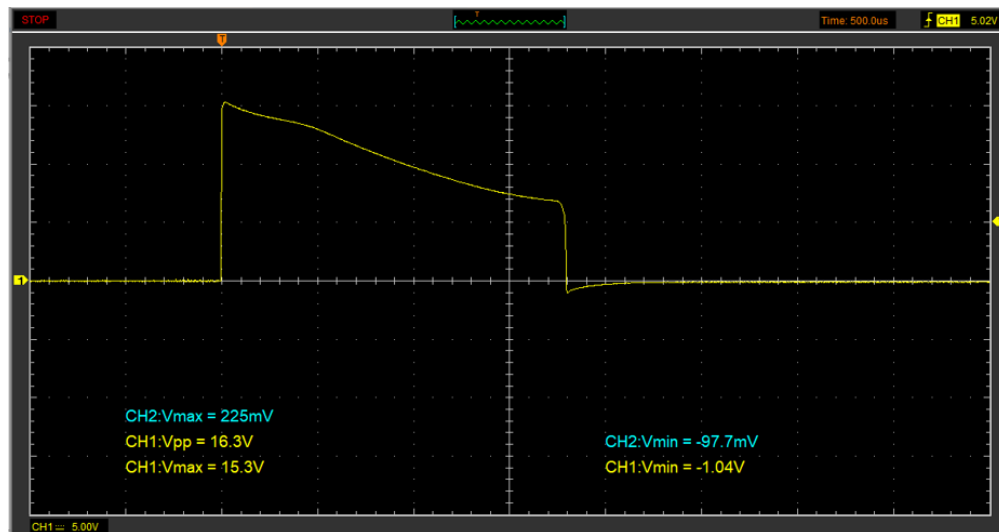


Figura 88. Oscilograma de voltaje con calibración 4 a presión de 1500 psi

En la figura 88, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse en este caso el voltaje de activación fue de 153 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación aumenta con respecto al oscilograma con presión de operación de 2000 psi y se mantiene un tiempo de encendido del inyector de 1.8 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

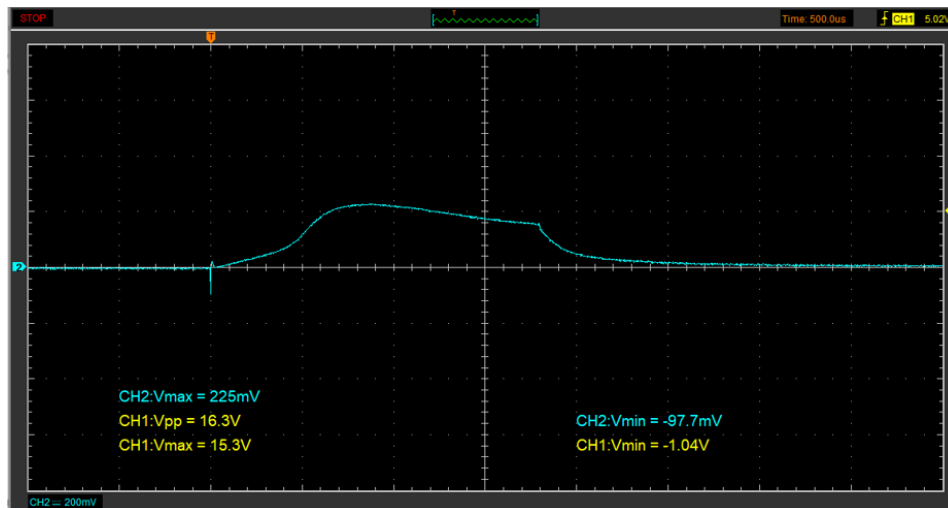


Figura 89. Oscilograma de corriente con calibración 4 a presión de 1500 psi

En la figura 89, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 225 mV para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mV/1Amp dando como resultado 22.5 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

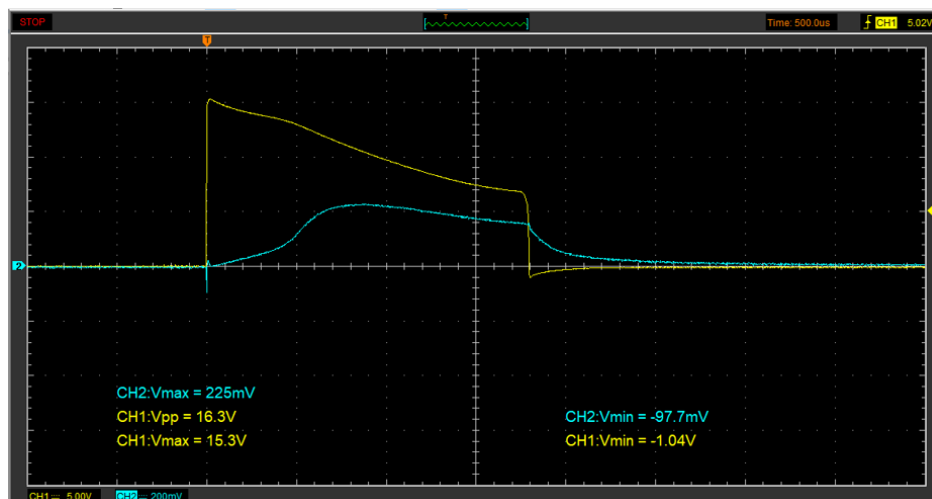


Figura 90. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 4 a presión de 1500 psi

En la figura 90, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.15 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 4 a 1160 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1160 psi con la calibración 4 indicada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.20 mm y la distancia entre placas a 0.27 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

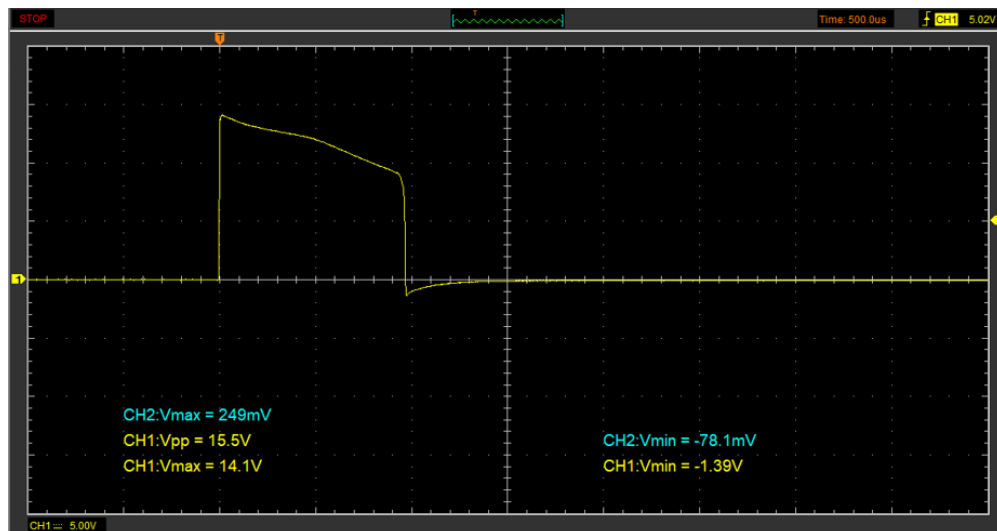


Figura 91. Oscilograma de voltaje con calibración 4 a presión de 1160 psi

En la figura 91, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 141 voltios cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación disminuye con respecto al oscilograma con presión

de operación de 2000 psi y el tiempo de encendido del inyector de 0.95ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje "X" y 200 mV por división para el eje "Y"

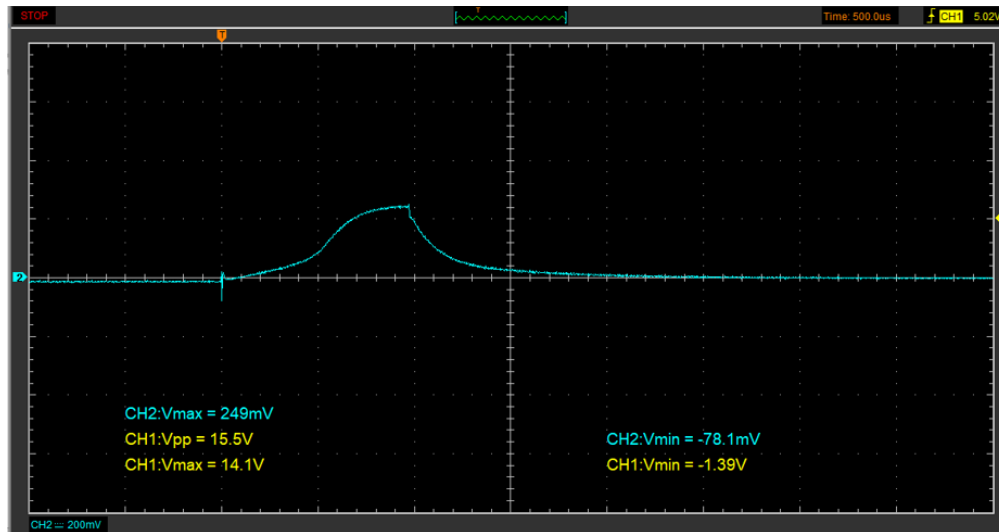


Figura 92. Oscilograma de corriente con calibración 4 a presión de 1160 psi

En la figura 92, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 249 mv, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 24.9 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

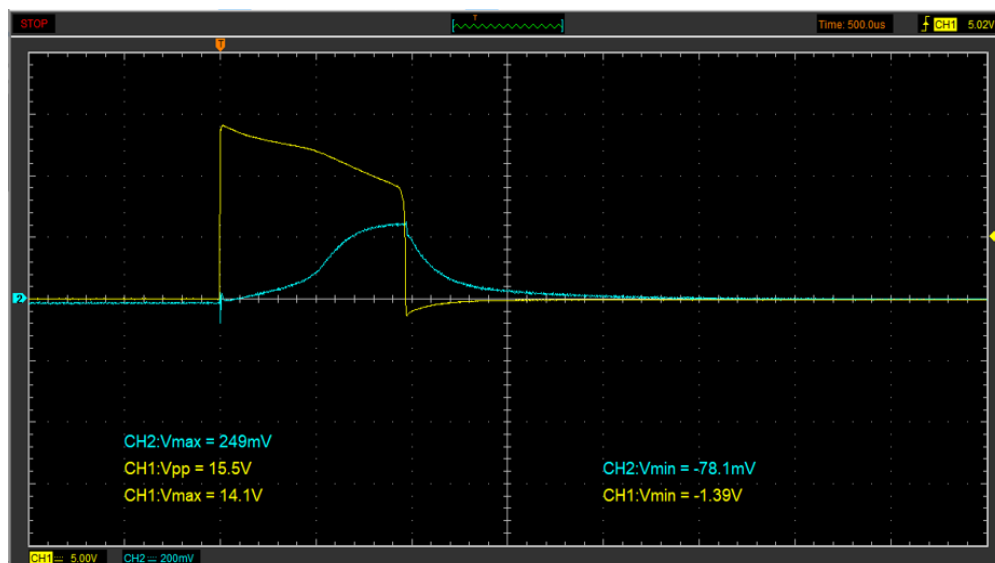


Figura 93. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 4 a presión de 1160 psi

En figura 93, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.16 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 5 a 2000psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 2000 psi con la calibración 5 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.34 mm y la distancia entre placas a 0.41 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

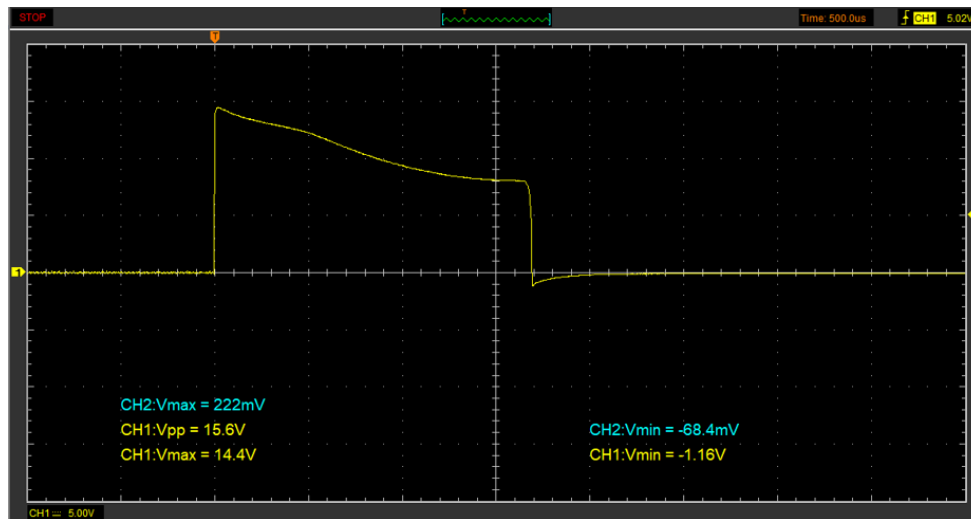


Figura 94. Oscilograma de voltaje con calibración 5 a 2000 psi

En la figura 94, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 144 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar, y se tiene un tiempo de encendido del inyector de 1.7 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

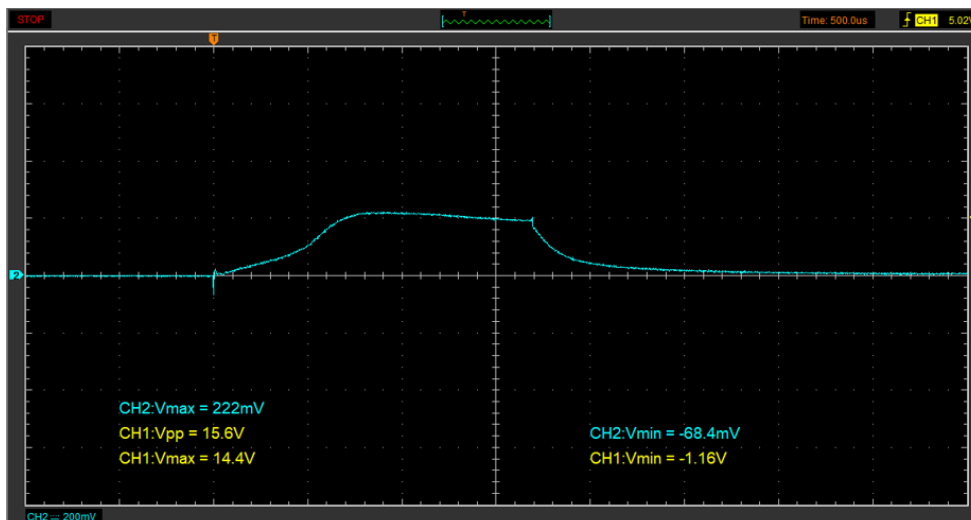


Figura 95. Oscilograma de corriente con calibración 5 a presión de 2000 psi

En la figura 95, la onda de color celeste que se logra apreciar representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 222 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 22.2 amperios en el punto del disparo del inyector.

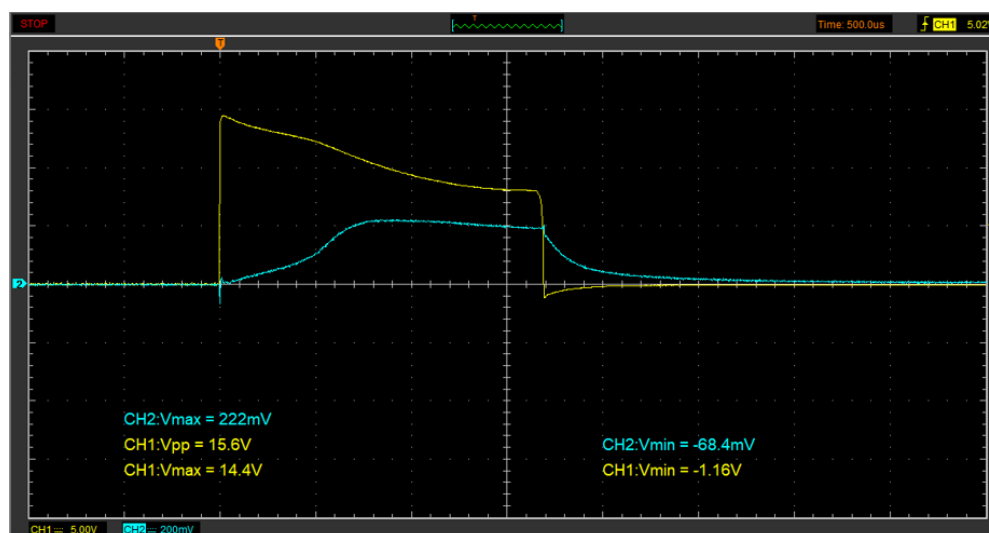


Figura 96. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 5 a presión de 2000 psi

En la figura 96, se puede observar tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.17 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 5 a 1500 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1500 psi con la calibración 5 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet

se encuentra calibrada a 0.34 mm y la distancia entre placas a 0.41 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje “X” y a 5 voltios por división para el eje “Y”.

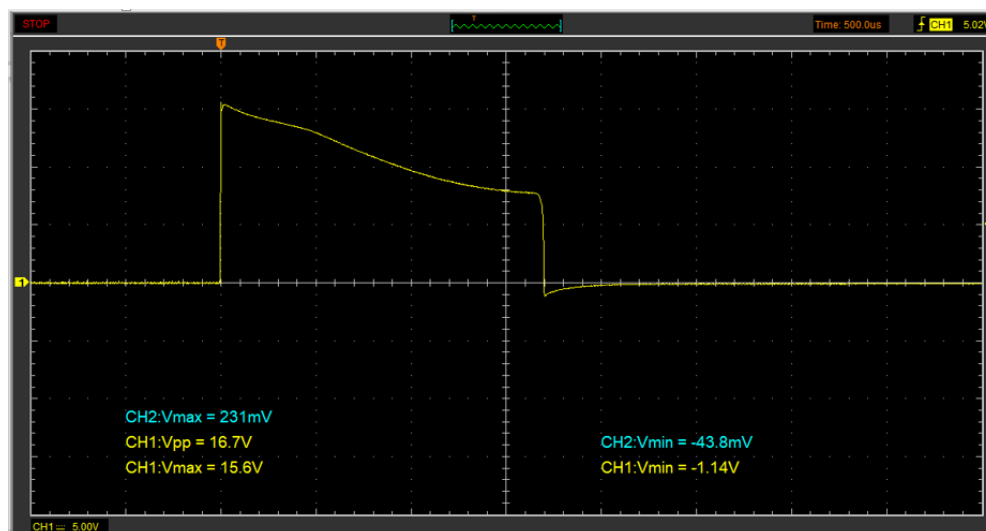


Figura 97. Oscilograma de voltaje con calibración 5 a presión de 1500 psi

En la figura 97, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 156 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación aumenta con respecto al oscilograma con presión de operación de 2000 psi y se mantiene un tiempo de encendido del inyector de 1.7 ms aproximadamente.

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje “X” y 200 mV por división para el eje “Y”

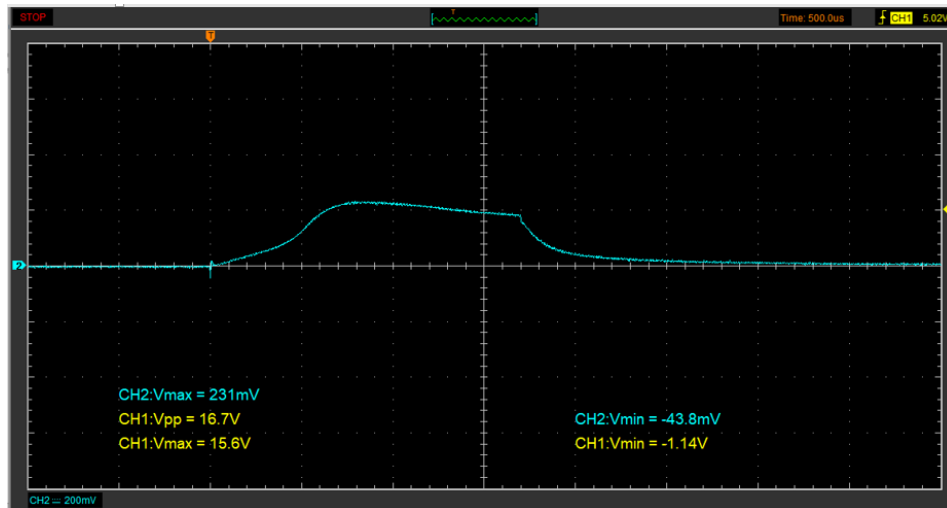


Figura 98. Oscilograma de corriente con calibración 5 a presión de 1500 psi.

En la figura 98, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 231 mV, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 23.1 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

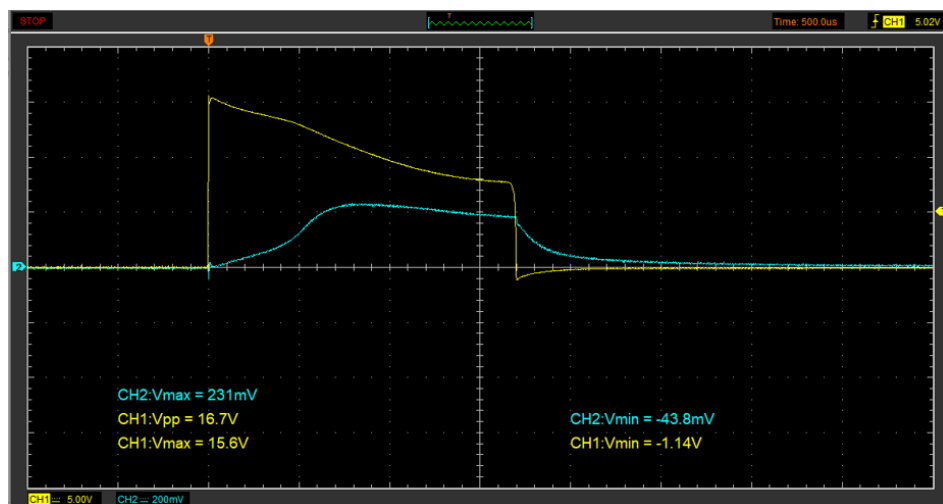


Figura 99. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 5 a presión de 1500 psi

En la figura 99, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.6.18 Oscilograma de voltaje y corriente con calibración 5 a 1160 psi

El siguiente oscilograma se obtuvo a una presión de operación de 1160 psi con la calibración 5 mostrada en la tabla 36, lo que significa que el recorrido de la válvula Poppet se encuentra calibrada a 0.34 mm y la distancia entre placas a 0.41 mm, el osciloscopio se trabajó con la escala de 500us para el eje "X" y a 5 voltios por división para el eje "Y".

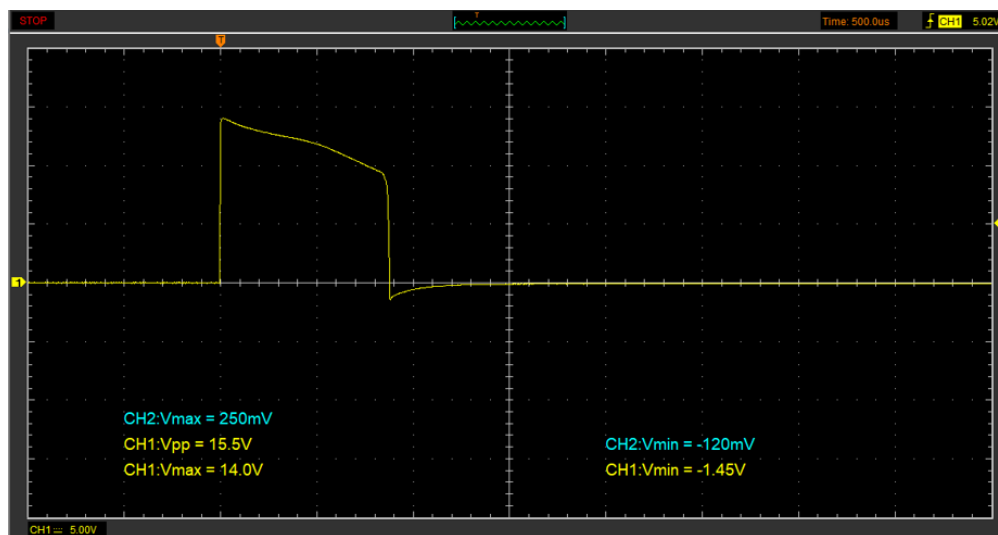


Figura 100. Oscilograma de voltaje con calibración 5 a presión de 1160 psi

En la figura 100, la curva de color amarillo representa la onda que produce el inyector al momento de activarse, en este caso el voltaje de activación fue de 140 voltios, cabe recalcar que el cable del osciloscopio se encontraba colocado en la posición de voltaje 10x lo que significa que el voltaje mostrado en la gráfica se lo debe multiplicar y se analiza que el voltaje de activación disminuye con respecto al oscilograma con presión

de operación de 2000 psi y el tiempo de encendido del inyector de 0.90 ms aproximadamente

A continuación, se presenta el oscilograma de corriente en donde el osciloscopio se encuentra a una escala de 500us para el eje "X" y 200 mV por división para el eje "Y"

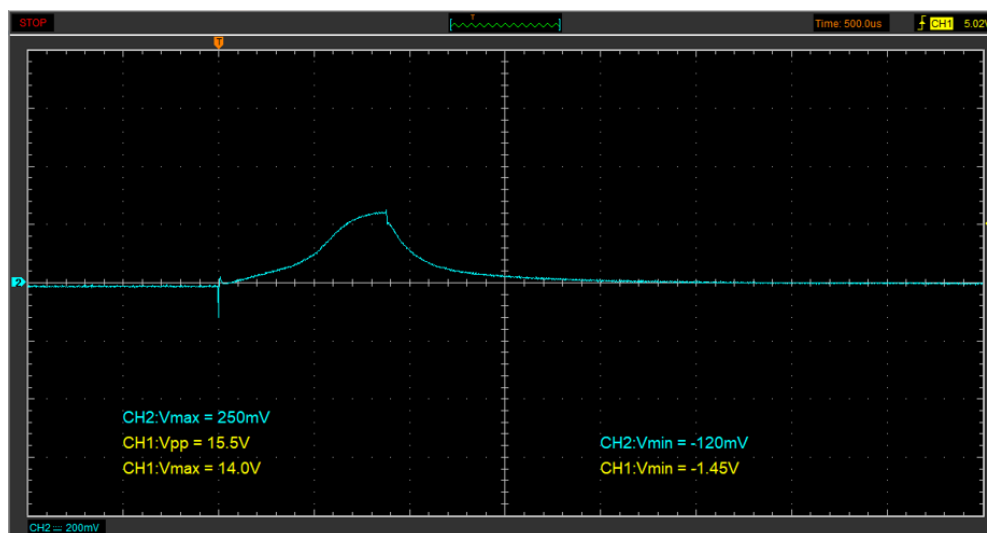


Figura 101. Oscilograma de corriente con calibración 5 a presión de 1160 psi

En la figura 101, la onda de color celeste que se logra apreciar, representa el oscilograma de corriente en el cual se tiene como dato principal el voltaje máximo que es de 250 mv, para obtener el valor de la corriente máxima utilizada en el disparo del inyector se debe tomar en cuenta el factor de conversión de la escala de la pinza amperimétrica que es 10mv/1Amp dando como resultado 25 amperios en el punto del disparo del inyector. Y se analiza que el valor de corriente aumenta a comparación del anterior oscilograma con presión de operación de 2000 psi.

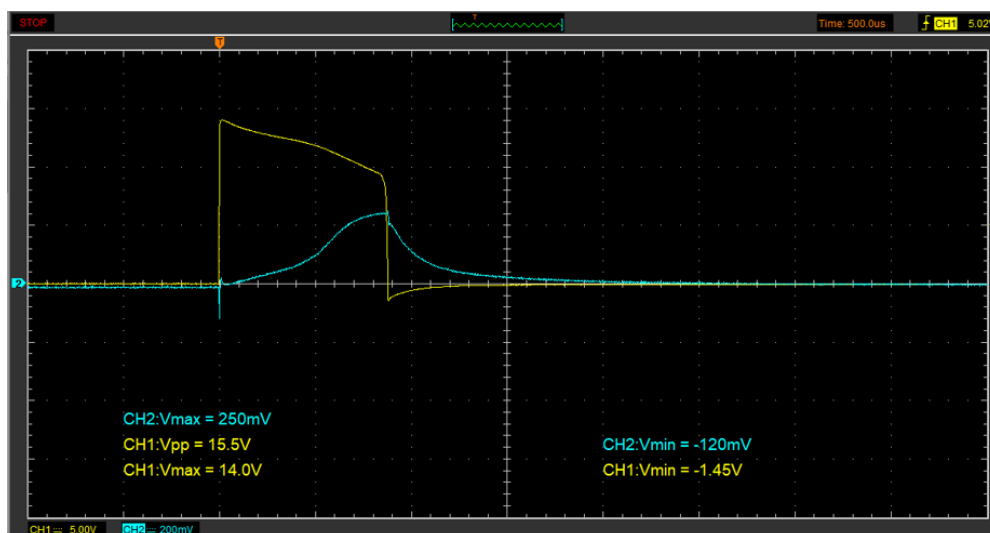


Figura 102. Oscilograma de voltaje y corriente simultáneos con calibración 5 a presión de 1160 psi

En figura 102, se observa tanto el oscilograma de voltaje como el oscilograma de corriente unidos y se analiza que después de alcanzar el valor máximo de activación del inyector, este voltaje comienza a descender junto con el oscilograma de corriente en el tiempo de retención y se analiza que cuando el inyector se apaga la onda de voltaje como de corriente descienden y terminan su ciclo al mismo tiempo.

4.7 Diagnóstico por imagen.

En el siguiente apartado se generó e interpretó la imagen patrón de la bobina del inyector armado con diferentes calibraciones para determinar su variación en relación a una calibración estándar.

Se analizó la firma básica de las bobinas que deben poseer una curva similar a una elipse con una inclinación que varía dependiendo de la inductancia de la bobina.

Tabla 45

Calibraciones del inyector HEUI 3126 para el diagnóstico por imagen

Calibraciones	Recorrido válvula Poppet	Distancia entre placas	Inductancia mH
1	27	34	9,27
2	27	40	7,88

CONTINÚA 

3	20	27	9,32
4	34	41	7,32

4.7.1 Visualización de patrones de imagen por cada calibración

Para la visualización adecuada del patrón de imagen de la bobina de los inyectores con las diferentes calibraciones, se hizo necesario la configuración del canal Gr.3 donde muestra el funcionamiento a 12 voltios, alta frecuencia HFr y alta corriente Hcu.

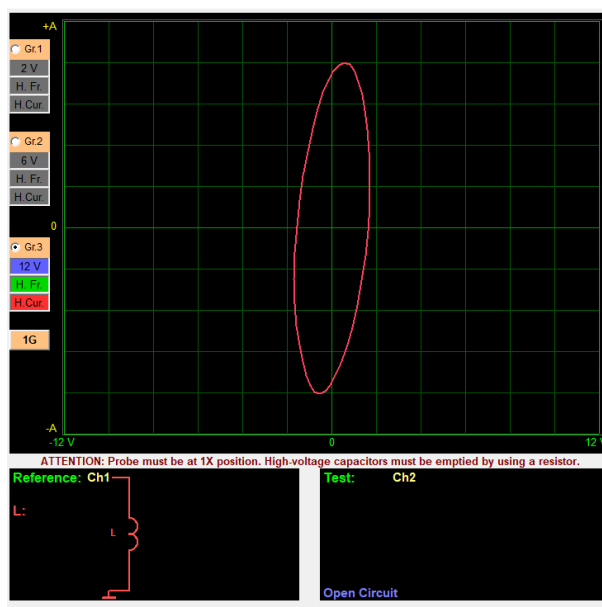


Figura 103. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 1 (estándar)

En la figura 103 se aprecia la curva característica de un inductor que es una elipse con una leve inclinación y el circuito equivalente indica el símbolo de inductor con un valor de 9,27 mH mostrado en la esquina inferior izquierda.

Esta imagen fue el punto de partida para la comparación entre las diferentes calibraciones para determinar la variación de la inductancia de forma gráfica.

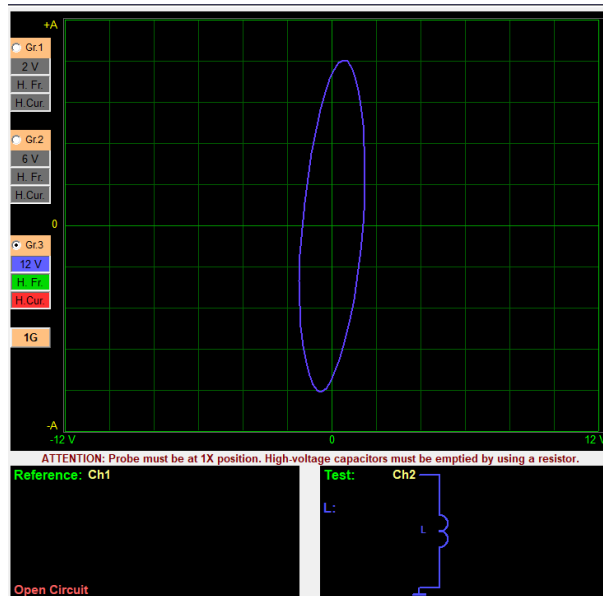


Figura 104. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 2

En la figura 104 se aprecia la curva característica de un inductor que es una elipse con una leve inclinación y el circuito equivalente indica el símbolo de inductor con un valor de 7,88 mH mostrado en la esquina inferior derecha.

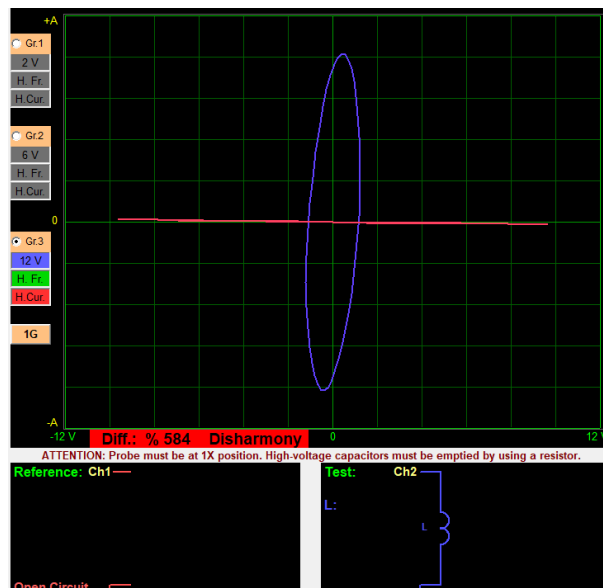


Figura 105. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 3

En la figura 105 se aprecia la curva característica de un inductor que es una elipse con una leve inclinación y el circuito equivalente indica el símbolo de inductor con un valor de 9,32 mH mostrado en la esquina inferior derecha.

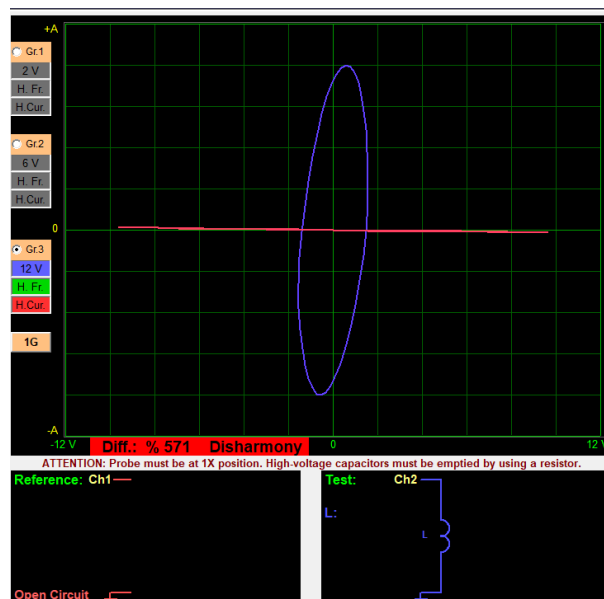


Figura 106. Patrón de imagen del inyector HEUI 3126 con calibración 3

En la figura 106 se aprecia la curva característica de un inductor que es una elipse con una leve inclinación y el circuito equivalente indica el símbolo de inductor con un valor de 7,32 mH mostrado en la esquina inferior derecha.

4.7.2 Comparación entre patrones de imagen

El equipo permitió visualizar dos gráficas al mismo tiempo, lo cual facilitó el diagnóstico y la comparación de las curvas características dependiendo de cada calibración. Además, se visualizó el porcentaje de discrepancia entre cada calibración y como afecta a la inductancia de la bobina.

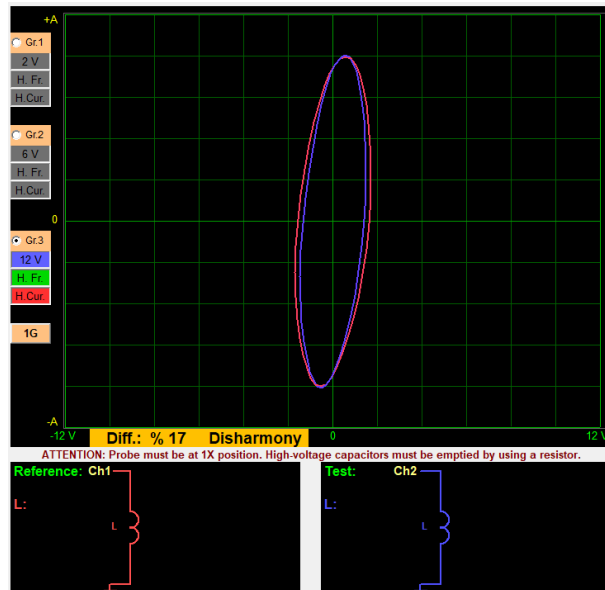


Figura 107. Comparación de los patrones de imagen de las calibraciones 1 y 2

En la figura 107 se muestra la curva de la calibración 1 color rojo y la curva de la calibración 2 color azul, de igual forma los símbolos de circuitos equivalentes en la parte inferior. Adicional se puede observar que la curva azul tiende a ser más aplanada debido a que el inyector posee una menor inductancia. La imagen muestra también la discrepancia de 17% entre las calibraciones.

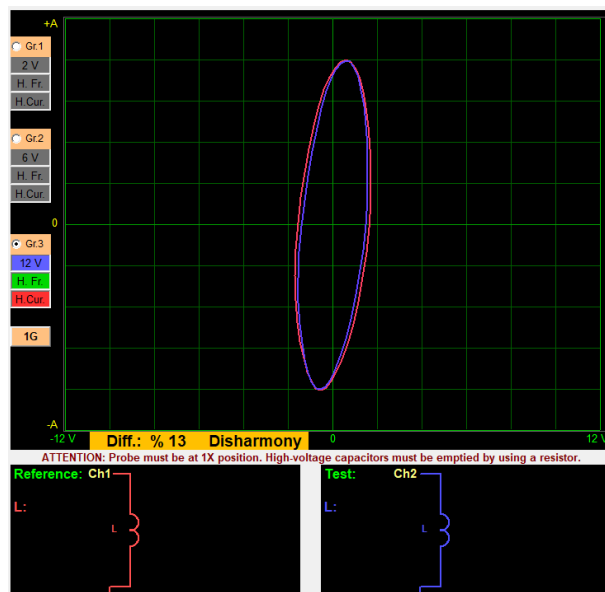


Figura 108. Comparación de los patrones de imagen de las calibraciones 1 y 3

En la figura 108 se muestra la curva de la calibración 1 color rojo y la curva de la calibración 3 color azul, de igual forma los símbolos de circuitos equivalentes en la parte inferior. Adicional se puede observar que la curva azul tiende a ser más aplanada debido a que el inyector posee una menor inductancia. La imagen muestra también la discrepancia de 13% entre las calibraciones.

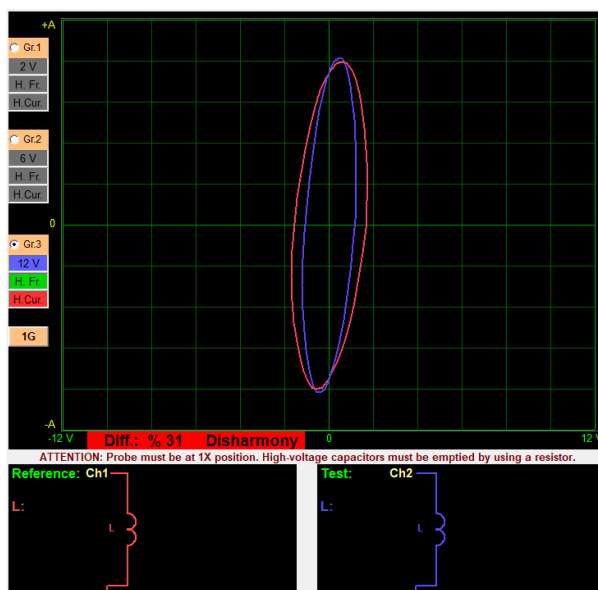


Figura 109. Comparación de los patrones de imagen de las calibraciones 1 y 4

En la figura 109 se muestra la curva de la calibración 1 color rojo y la curva de la calibración 3 color azul, de igual forma los símbolos de circuitos equivalentes en la parte inferior. Adicional se puede observar que la curva azul tiende a ser más aplanada debido a que el inyector posee una menor inductancia. La imagen muestra también la discrepancia de 31% entre las calibraciones.

Cabe indicar que la discrepancia entre el mismo tipo de elementos eléctricos no debe superar el 15%, por lo tanto, se puede indicar que la calibración 3 es aceptable y las calibraciones 2 y 4 se descartan mediante el diagnóstico por imagen.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1 Recursos

Para la ejecución de la investigación, se llevó a cabo un orden con el fin de cumplir todos los objetivos y metas propuestas, por el cual en el presente capítulo se detallan los recursos humanos, tecnológicos, materiales y financieros que intervinieron con la finalidad de facilitar el desarrollo de la misma.

5.1.1 Recursos humanos

El desarrollo de la presente investigación “INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES HEUI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ELECTRÓNICO “fue realizada por los señores:

Tabla 46

Recursos humanos

ORD.	NOMBRE	DETALLE
1	Sr. Jhilson Paul Guamushig Laica	Investigador
2	Sr. Luis Santiago Moreno Muso	Investigador
3	Ing. Washington Germán Erazo Laverde	Director

5.1.2 Recursos tecnológicos

Para la presente investigación se utilizó varios recursos tecnológicos, los cuales fueron importantes para al desarrollo e implementación de la misma y se detallan a continuación:

Tabla 47

Recurso tecnológicos

ORD	NOMBRE
1	Osciloscopio Hantek 1008c
2	Fuente de aislamiento automática CR-370
3	Computadora
4	Celular

CONTINÚA 

5	Megohmetro Supco M500
6	Detector de falla FADOS9F1
7	Pinza amperimétrica
8	Banco comprobador de inyectores
9	Multímetro

5.1.3 Recursos materiales

Para realizar pruebas acordes a la investigación fueron necesarios varios recursos materiales que cumplen diferentes funciones específicas y se detallan a continuación.

Tabla 48

Recursos materiales

ORD	NOMBRE
1	Inyector HEUI 3126
2	Torquimetro
3	Reloj palpador digital
4	Indicador de profundidad
5	Base magnética
6	Herramientas automotrices
7	Herramientas HEUI
8	Cuaderno de apuntes

5.2 Presupuesto

Dentro del presupuesto para el desarrollo de la presente investigación se consideran todos los costos realizados tales como, costo de equipos y herramientas necesarias para la calibración de inyectores HEUI, adecuación del banco de pruebas, costo de calibración y pruebas de los inyectores HEUI y costos generales.

5.2.1 Costos de equipos y herramientas

Para la realización de la calibración, reparación y comprobación de los inyectores HEUI fue necesario la adquisición de equipos y herramientas adecuadas para este tipo de inyector HEUI 3126, a continuación, se detalla las herramientas requeridas:

Tabla 49*Costo de equipos y herramientas*

Ord	Descripción	Cantidad	Valor U.	Valor total
1	Base magnética 60 kg	1	54	\$54,00
2	Reloj Palpador digital	1	51,75	\$51,75
3	Base indicadora de profundidad	1	47,96	\$47,96
4	Palanca mando 1/2 "	1	4,45	\$4,45
5	Destornillador torx t20	1	1,4	\$1,40
6	Copa Torx T25 (mando 1/2")	1	4,5	\$4,50
7	Herramientas HEUI (C7, C9,3126)	1	400	\$400,00
8	Tobera HEUI 3126	1	150	\$150,00
9	Kit Cauchos de inyector	1	15,05	\$15,05
10	Juego de dados torx hembra	1	9,95	\$9,95
11	Palillos de tobera	1	10	\$10,00
			Total	\$749,06

5.2.2 Costo de adecuación del banco de pruebas HEUI

Debido a la utilización inadecuada del banco de comprobación de inyectores HEUI de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, este se encontraba deshabilitado, por lo que fue necesario realizar la rehabilitación de su módulo de inyección, de su control hidráulico y la sustitución de elementos en mal estado, por lo cual en la siguiente tabla se presentan los costos de dicha adecuación.

Tabla 50*Costo de adecuación del banco de prueba HEUI*

ORD.	Descripción	Cantidad	Valor U.	Valor Total
1	Cable flexible	10	0,91	\$9,06
2	Terminales	9	0,05	\$0,45
3	Pernos	15	0,21	\$3,15
4	Condensador	1	10,00	\$10,00
5	Acrílico	1	2,00	\$2,00
6	Broca pequeña	1	1,20	\$1,20
7	Pieza de madera	1	5,00	\$5,00
8	Pintura color negro	2	1,80	\$3,60
9	Manguera espiral	1	4,45	\$4,45
10	Destornilladores pequeños	2	0,65	\$1,30
11	Contacto de arranque	1	10,00	\$10,00
12	Limpiador de contactos	1	5,00	\$5,00

CONTINÚA 

13	Mega grey	1	4,32	\$4,32
14	Pantalla lcd	1	15,00	\$15,00
15	Cable de protoboard	1	2,90	\$2,90
16	Botones	10	0,75	\$7,45
17	Solenoides	4	5,50	\$22,00
18	Bomba de aspiración	1	20,00	\$20,00
19	Manguera de gas	3	0,50	\$1,50
20	Abrazaderas 1/4	20	0,14	\$2,80
21	T de bronce	3	4,44	\$13,32
22	Acoples de bronce	4	2,50	\$10,00
23	Relé	1	3,50	\$3,50
24	Diésel	1	11,00	\$11,00
25	Pega tanque	1	5,78	\$5,78
26	Spray rojo	1	1,87	\$1,87
27	Tubo de cañería	2	3,50	\$7,00
27	Gasolina	1	1,50	\$1,50
28	Correas plásticas	1	2,00	\$2,00
29	Plotter	1	15,00	\$15,00
30	Candados	2	1,88	\$3,75
31	Silicón	1	3,80	\$3,80
			Total	\$205,90

5.2.3 Costo de calibración y pruebas de inyectores HEUI

Para conocer el funcionamiento del inyector con diferentes calibraciones se realizó las diferentes pruebas en el banco de comprobación HEUI Dongtai CR-816.

Tabla 51

Costo de calibración y pruebas de inyectores HEUI

Descripción	Valor
Pruebas de funcionamiento del inyector HEUI 3126 (alta carga, media carga, ralentí, limpieza)	\$150
Total	\$150

5.2.4 Costo total de la investigación

Además de los gastos plantados anteriormente en dichas tablas, se debe añadir gastos en movilización e imprevistos.

Tabla 52
Costo total de la investigación

Descripción	Valor
Equipos y herramientas	\$749,06
Adecuación del banco de pruebas HEUI	\$205,90
Calibración y pruebas de inyectores HEUI	\$150,00
Movilización	\$40,00
Imprevistos	\$10,00
Total	\$1.154,96

CONCLUSIONES

- Se recopiló información teórica y técnica inherente a los procesos de reparación y calibración de inyectores HEUI 3126.
- Se generó un sistema automatizado de retorno de combustible para el banco de comprobación de inyectores diésel HEUI-ESPE
- Se modeló las herramientas específicas para el proceso de desarmado, montaje y ajuste mecánico de los inyectores HEUI.
- Se seleccionó herramientas de ajuste, medición, calibración y puesta a punto de inyector HEUI que permitieron obtener calibraciones con una 90% de precisión.
- Se ejecutó el protocolo de reparación, calibración y pruebas a través de la instrumentación adecuada para los inyectores HEUI 3126.
- Se desarrolló pruebas de caudal de entrega de combustible a alta carga, media carga, ralentí y limpieza del inyector a diferente calibración en un banco de comprobación de inyectores HEUI
- Se realizó pruebas eléctricas de corriente y voltaje de activación, atracamiento, resistencia e inductancia de la bobina de los inyectores HEUI
- Se analizó el comportamiento y desempeño del inyector por medio de diagnóstico por imagen
- Se determinó que en la calibración entre placas el grosor de la arandela de calibración es inversamente proporcional a la distancia entre armadura y bobina. Ya que al colocar una arandela de mayor grosor la medida entre placas disminuye.
- Se comprobó que las calibraciones de los elementos del inyector fuera de su

tolerancia afectan directamente a la entrega de combustible adecuado para un funcionamiento óptimo del motor.

- El estado óptimo de sellos externos del inyector permite mantener la presión de operación a 200 bares sin que exista fuga de aceite o comunicación con la galería del diésel.
- La disposición del inyector en el cabezote y el diseño de la cámara de combustión originan que los ángulos de inyección sean únicos para cada orificio de inyector siendo los más significativos el 1 y 4.
- La recolección de datos respecto al caudal de inyección en las diferentes pruebas permite valorar el estado de calibración de inyector y muestra si los valores se encuentran en los rangos apropiados lo cual evitaría un consumo excesivo de combustible y por ende elevadas emisiones de gases contaminantes.
- En la prueba a 80 bares de presión se observó que el caudal excede los límites solo con la calibración de 0.20 mm de recorrido de la válvula Poppet y 0.27 mm de la distancia de la armadura tanto con tobera nueva como la usada.
- A 150 bares de presión se observa que el caudal excede los límites en todas las calibraciones excepto en la calibración estándar tanto en tobera nueva como la usada.
- El caudal de inyección es afectado directamente proporcional al recorrido de la válvula Poppet e inversamente proporcional a la distancia entre la armadura y bobina.
- La calibración adecuada para el uso del inyector en un motor se determina que es la estándar debido a que trabaja frecuentemente en media y altas revoluciones.

- La corriente y el voltaje de activación varían directamente proporcional a la calibración de la distancia armadura y bobina, mientras que varía inversamente proporcional a la calibración de la válvula Poppet.
- La discrepancia máxima permitida entre componentes eléctricos de similares características es de 15%, por ende, las calibraciones 1 y 3 presenta una discrepancia de 13% y es la única que es óptima para el funcionamiento del inyector
- Se determinó en las pruebas eléctricas que la corriente tiende a variar directamente proporcional a la calibración de la distancia armadura bobina, mientras que varía inversamente proporcional a la calibración de la válvula Poppet
- En las pruebas de calibración realizadas al inyector los oscilogramas comparten la misma similitud en toda la forma de onda, el parámetro que influye en la onda es la presión de operación y la distancia entre placas existente. (armadura – bobina)

RECOMENDACIONES

- Para realizar las distintas pruebas al inyector HEUI en el banco comprobador se debe trabajar con un equipo de protección personal ya que este equipo trabaja a altas presiones y puede poner en peligro la integridad del ocupante.
- En ningún momento se debe encender el banco de comprobación si los inyectores no se encuentran instalados y con su protección respectiva, al ser un equipo que trabaja a altas presiones puede ocasionar una fuga excesiva de combustible y provocar daños de la persona.
- Verificar que los equipos de diagnóstico eléctrico y electrónico se encuentren calibrados y en óptimas condiciones de funcionamiento para evitar datos erróneos de medición.
- En las pruebas mecánicas del inyector verificar que sellos herméticos estén en perfectas condiciones para evitar fugas de presión y comunicación entre las galerías de combustible y de aceite.
- En el montaje de la tobera del inyector verificar que la punta del inyector no debe moverse mientras se ajusta
- Evitar la manipulación brusca de los elementos internos del inyector, así como la punta de tobera ya que posee finos orificios que pueden llegar a obstruirse.
- Para futuras investigaciones, al existir amplia variedad de inyectores HEUI y poca información de procesos de reparación y calibración es pertinente el uso de otro tipo de inyector como los HEUI C7 o C9 que son muy utilizados en Maquinaria pesada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alanuca, W., & Sangucho, C. (2013). Diseño y construcción de un sistema de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyector diesel electrónicos HEUI. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.
- Bassante, J. M., & Díaz, Á. S. (2019). Análisis del desgaste del pulverizador y comportamiento electrónico de inyectores CRDI y bomba de alta presión CP al utilizar la mezcla combustible diésel surfactantes de agua. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Bennett, S. (2014). Modern diesel dechnology: diesel engines. Cengage Learning.
- Bernal Villamizar, J. L. (2016). Manual de motores diésel power stroke Ford con inyección HEUI y common rail.
- Bertola, J. (2015). DNR Industries. Recuperado el 16 de Diciembre de 2019, de <http://www.dnrind.com/prodf/cat3116.htm>
- Bombón, J., & Chalco, M. (2017). *Investigacion del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores de marca DELPHI EJBR02801D y EJBR04601D del sistema de inyección CRDI (Common Rail Diesel Injection)*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- BrainBee. (2017). BrainBee Workshop solutions. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de <http://www.brainbee.it/prodotti.php>
- Caterpillar. (1997). 3408E/3412E Engine control hidraulic electronic unit injection HEUI. Recuperado el 02 de Septiembre de 2019, de <https://vdocuments.mx/manual-heui-traducido.html>

- Caterpillar. (1999). HEUI Fuel Systems. Recuperado el 01 de Diciembre de 2019, de https://www.academia.edu/33185502/HEUI_Fuel_Systems
- Caterpillar. (2001). Operacion de Sistemas Pruebas y Ajustes. Recuperado el 16 de Septiembre de 2019, de <https://www.scribd.com/document/378298692/manual-de-servicio-para-motores-de-camiones-caterpillar-3126-pdf>
- Caterpillar. (2002). Capácitacion de servicio de motor Caterpillar; motor 3126B HEUI. Recuperado el 29 de Marzo de 2019, de <https://www.scribd.com/doc/152730310/Motor-Cat-3126b-Heui>
- Combustion Diesel de Monterrey S.A. . (2019). Drexel Diesel Injection Systems. Recuperado el 16 de Diciembre de 2019, de <http://drexel.com.mx/producto/inyector-ford-7-3-electronico-heui-7/>
- Corporation, I. T. (2000). Manual de servicio para motores diesel DT-466E e International 530E. Washington D. C.
- Dongtai. (2019). Taian dongtai machine manufacturing CO.,LTD. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de <https://www.topdiesel.com/es/cr816-common-rail-euieup-heui-test-bench.html>
- Fados. (2019). Manual de usuario FADOS9F1. Bursa: ProT Ar-Ge.
- Gomer, B. (2019). US Diesel Parts. Recuperado el 16 de Diciembre de 2019, de <https://usdieselparts.com/i-13466830-heui-fuel-injector-navistar-dt466e.html>
- Guerrero, L. (2018). Análisis del comportamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos de motores diésel, con el uso de biodiésel con mezclas B5 y B10. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

- Hantek. (2006). Hantek. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de http://www.hantek.com/en/ProductDetail_13_13170.html
- Huamancayo , J. (9 de Julio de 2013). Motor Cat_3126b (Heui). Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de <https://es.scribd.com/doc/152730310/Motor-Cat-3126b-Heui>
- IMA. (2018). IMA internacional. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de <https://www.imamagnets.com/bases-magneticas/>
- Lopez, I. (2019). Saygal. Recuperado el 22 de Noviembre de 2019, de <http://www.saygal.es/index.php/productos/5/caterpillar-3126-heui-detail.html>
- Macian, V., Peidro, J., Tormos, B., & Olmeda, P. (2005). Mantenimiento de motores diésel. Valencia: Alfaomega.
- Miralles, J. (1998). Motores Diesel Averías: localización y Reparación. Barcelona, España: CEAC SA.
- Navistar Inc. (2019). International. Recuperado el 13 de 12 de 2019, de <https://latin-america.internationalcamiones.com/motores/international-dt466>
- Neoteck. (2012). Neoteck. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de <http://www.neoteck.cn/index.php/2016/11/17/ntk021/>
- Ocaña, A. (2000). Tratado del Automovil; La técnica en los siglos XX-XXI. Madrid: Dossat.
- Power, A. (2017). Catalogo Alliant Power.
- Prokit's Industries Co., L. (2004). Manual de usuario MT-5211. Shenzhen. Recuperado el 28 de Noviembre de 2019
- Puente, E. G. (2018). Análisis Y Diagnóstico Del Sistema De Control Electrónico De Inyección De Combustible Diesel HEUI CAT-3126. INNOVA Research Journal, 145-150.

Ralbovsky, R. (1999). An Introduction to compact and Automotive Diesel . Madrid: Paraninfo.

Ruiz, R. (2007). El método científico y sus etapas. Mexico: Biblioteca Lascasas.

Supco. (2019). Supco the right choice. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de https://www.supco.com/web/supco_live/products/M500.html

Tran, Y.-T. (2003). Modelling and simulation of electronically controlled diesel injectors. Australia : University of New South Wales.

Zemtec. (2019). Zemtec. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de <http://zemtec.com.ar/#!/producto/17/>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores GUAMUSHIG
LAICA JHILSON PAUL Y MORENO MUSO LUIS SANTIAGO

En la ciudad de Latacunga a los 19 del mes de diciembre de 2019.

Aprobado por:

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA CARRERA



Ab. Darwin Albán
SECRETARIO ACADÉMICO