

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz

“DISEÑO DE UN SIMULADOR PARA DIAGNÓSTICO DE BOMBAS CRDI
E IMPLEMENTACIÓN EN UN BANCO DE PRUEBAS HARTRIDGE DE
BOMBAS CONVENCIONALES”

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico
Automotriz.

Autores:

Félix Isaías Arízaga Idrovo
Pablo Fernando Torres Ortiz

Director:

Ing. Lauro Barros

Cuenca, Octubre 2014

CERTIFICACIÓN

Que el siguiente trabajo de tesis: **“Diseño de un simulador para diagnóstico de bombas CRDI e implementación en un banco de pruebas Hartridge de bombas convencionales”**, para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, realizado por los estudiantes Félix Isaías Arízaga Idrovo y Pablo Fernando Torres Ortiz, fue dirigido por mi persona.

Cuenca, 21 de octubre de 2014

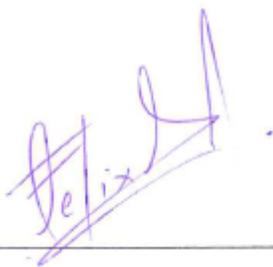
A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right, positioned above a thin horizontal line.

Ing. Lauro Barros

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Félix Isaías Arízaga Idrovo y Pablo Fernando Torres Ortiz, declaramos bajo juramento que el trabajo que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Félix Isaías Arízaga Idrovo



Pablo Fernando Torres Ortiz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mis padres y hermanos por el apoyo brindado. Al Ing. Lauro Barros, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma. Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Félix Arízaga Idrovo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia por brindarme el apoyo, el tiempo, la dedicación y la confianza durante esta etapa de mi vida. A los técnicos del Laboratorio Reina del Cisne, por compartir sus conocimientos, experiencia adquirida y opiniones durante el desarrollo de la misma. A mi director de tesis por compartir el conocimiento adquirido y por su voluntad para guiarnos en el desarrollo de la tesis.

Pablo Fernando Torres Ortiz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, por ser el ejemplo de vida a seguir y siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A mis hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado.

Félix Arízaga Idrovo.

DEDICATORIA

A mi padre Carlos y mi madre Lidia por apoyarme en la culminación de mi carrera, además de brindarme todo su apoyo, amor y confianza. Además a mis hermanos Juan Carlos y Eduardo que de una u otra manera aportaron con su granito de arena, brindándome su apoyo y palabras de aliento, a lo largo de mi carrera.

Pablo Fernando Torres Ortiz

RESUMEN

El considerable desarrollo tecnológico en la actualidad, ha permitido la creación de sistemas de inyección diésel que trabajan de manera más eficiente, lo que genera un avance semejante en el desarrollo de máquinas diseñadas para el diagnóstico de estos sistemas, como los bancos de pruebas, los cuales son equipos que permiten realizar evaluaciones previas de las condiciones de calidad de un sistema.

De aquí la importancia de contar con equipos que permitan diagnosticar sistemas de inyección diésel modernos, utilizando bancos de pruebas que presenten la tecnología suficiente para trabajar con dichos sistemas.

El banco de pruebas Hartridge serie PGM 10-12 y modelos contemporáneos, son equipos que no permiten el diagnóstico de las bombas de alta presión de los sistemas de inyección diésel modernos.

El problema radica fundamentalmente en que estos bancos no cuentan con los siguientes dispositivos:

- Un simulador de la señal que va del ECM (o PCM dependiendo del vehículo) hacia la SCV (válvula de control de la aspiración).
- Un instrumento de medición de la presión otorgada por la bomba ya que esta supera los 1700 bares, este puede ser analógico o digital.
- Un instrumento para la medición de caudal del líquido de pruebas consumido.

Muchos técnicos de laboratorios diésel que no poseen bancos con todas estas características debido a su elevado costo, sugieren que un dispositivo complementario, sería de gran ayuda para diagnosticar fallas en estas bombas, y mantener aun útiles sus bancos de pruebas; reduciendo gastos que corresponden a la adquisición de equipos nuevos y modernos.

Los capítulos que se consignan en este trabajo son: Fundamentación teórica del funcionamiento, valores de trabajo y función de las diferentes partes de las bombas CRDI, Diseño y construcción del simulador con sus accesorios, Pruebas de funcionamiento y puesta a punto del simulador.

INDICE

CAPÍTULO I	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL FUNCIONAMIENTO, VALORES DE TRABAJO Y FUNCIÓN DE LAS DIFERENTES PARTES DE LAS BOMBAS CRDI	1
<i>1.1. INTRODUCCIÓN</i>	<i>2</i>
<i>1.2. SISTEMAS COMMON RAIL</i>	<i>2</i>
1.2.1. Sistemas utilizados en la actualidad	2
1.2.2. Elementos de un sistema Common Rail	3
1.2.3. Gestión electrónica del sistema Common Rail	4
<i>1.3. BOMBA DE ALTA PRESIÓN CRDI</i>	<i>5</i>
1.3.1. Funcionamiento de la Bomba CRDI	5
1.3.2. Válvula SCV	7
1.3.2.1. Operación	8
1.3.2.1.1. Abertura Pequeña de la SCV	9
1.3.2.1.2. Abertura Grande de la SCV	10
<i>1.4. Sistema Common Rail Bosch</i>	<i>11</i>
1.4.1. Bomba CRD Bosch	12
1.4.1.1. Bomba de Alimentación	13
1.4.1.2. Especificaciones de la bomba	14
1.4.2. Válvula limitadora de presión	14
1.4.2.1. Estructura y función	15
1.4.3. Sensor de presión Common Rail Bosch	16
<i>1.5. Sistema Common Rail Denso</i>	<i>17</i>
1.5.1. Bomba de suministro Denso (HP3)	17
1.5.1.1. Construcción y características	18
1.5.1.2. Funciones de las piezas componentes	19
1.5.1.3. Bomba de alimentación	19
1.5.1.4. Válvula reguladora	20
1.5.1.5. Válvula de control de succión SCV Denso	20
1.5.1.6. Unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, émbolo buzo)	22
1.5.1.7. Válvula de descarga	22
1.5.2. Sensor de temperatura del combustible	23
<i>1.6. Sistema Common Rail Delphi</i>	<i>24</i>
1.6.1. Bomba de suministro Delphi	25
1.6.1.1. Generación de presión	26

1.7.	<i>Sistema Common Rail Siemens</i>	28
1.7.1.	Bomba de suministro Siemens	28
1.7.1.1.	Generación de presión	30
1.8.	<i>SENSOR DE CAUDAL AICHI OF05ZAT</i>	32
1.8.1.	Información general.....	33
1.9.	<i>BANCO DE PRUEBAS HARTRIDGE PGM10-12</i>	34
CAPÍTULO II		36
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR Y SUS ACCESORIOS		36
2.1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	37
2.2.	<i>DISEÑO DE PLACA MATRIZ</i>	37
2.2.1.	Parámetros para el diseño	38
2.2.1.1.	Dimensiones.....	38
2.2.1.2.	Material	39
2.2.2.	Análisis por elementos finitos de la placa	40
2.2.2.1.	Soportes	40
2.2.2.2.	Cargas	41
2.2.2.3.	Calidad de enmallado.....	42
2.2.2.4.	Resultados	42
2.2.2.4.1.	Esfuerzo equivalente de Von Mises	42
2.2.2.4.2.	Deformación total.....	44
2.2.2.4.3.	Factor de seguridad	45
2.3.	<i>CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA MATRIZ</i>	46
2.4.	<i>DISEÑO DE RIEL</i>	48
2.4.1.	Parámetros para el diseño	48
2.4.1.1.	Dimensiones.....	48
2.4.1.2.	Material	49
2.4.2.	Análisis por elementos finitos de la placa	49
2.4.2.1.	Soportes	49
2.4.2.2.	Cargas	50
2.4.2.3.	Calidad de enmallado.....	51
2.4.2.4.	Resultados	51
2.4.2.4.1.	Esfuerzo equivalente de Von Mises	52
2.4.2.4.2.	Deformación total.....	52
2.4.2.4.3.	Factor de seguridad	53
2.5.	<i>CONSTRUCCIÓN DEL RIEL</i>	53
2.6.	<i>DISEÑO DEL SIMULADOR</i>	54

2.6.1.	Parámetros para el diseño	54
2.7.	<i>DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA</i>	55
2.8.	<i>CONSTRUCCION DE LA CAJA DE CIRCUITO DE POTENCIA</i>	55
2.8.1.	Elementos	55
2.8.2.	Comprobaciones del circuito	56
2.9.	<i>SOFTWARE Y TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</i>	57
2.9.1.	Tarjeta NI USB 6212	58
2.9.2.	Labview.	59
2.10.	<i>PROGRAMACIONES</i>	60
2.10.1.	Programación para la generación de la señal	60
2.10.2.	Programación del receptor de la señal del sensor de presión	61
2.10.2.1.	Proceso de caracterización del sensor de presión	61
2.10.3.	Programación del sensor de caudal	65
2.10.4.	Programación de la visualización de los datos de funcionamiento	67
2.11.	<i>CONSTRUCCIÓN DEL HABITÁCULO DE SEGURIDAD</i>	69
2.12.	<i>MONTAJE DE LOS ACCESORIOS DEL SIMULADOR</i>	71
CAPÍTULO III		72
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL SIMULADOR... 72		
3.1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	73
3.2.	<i>CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN DE PRESIÓN</i>	73
3.2.1.	Calibrador de presión DPC-501	73
3.3.	<i>DESCRIPCION DE PRUEBAS DEL SIMULADOR</i>	76
3.3.1.	Descripción de la prueba de presión	76
3.3.2.	Descripción de la prueba de estanqueidad	77
3.3.3.	Descripción de la prueba de caudal	77
3.4.	<i>DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS</i> 78	
3.4.1.	Configuración de la señal de comando de la válvula SCV	78
3.4.2.	Determinación de las RPM	82
3.5.	<i>PROCESO PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS</i>	87
3.5.1.	Prueba de presión	87
3.5.2.	Prueba de estanqueidad	90
3.5.3.	Prueba de caudal	91
3.6.	<i>EJECUCIÓN DE PRUEBAS</i>	91
3.6.1.	Prueba de presión	93

3.6.1.1. Análisis de resultados	94
3.6.2. Prueba de estanqueidad	95
3.6.2.1. Análisis de resultados	96
3.6.3. Prueba de caudal.....	97
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	107
<i>ANEXO 1</i>	<i>107</i>

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura - 1.1 Componentes del sistema CRDI.....	3
Figura - 1.2 Diagrama del sistema CRDI.....	4
Figura - 1.3 Vista seccionada de una bomba de presión.....	5
Figura - 1.4 Esquema del funcionamiento de la bomba de alta presión.....	6
Figura - 1.5 Partes externas de la bomba CRDI. Figura 1.6 Válvula IMV Delphi.....	7
Figura - 1.6 Válvula IMV Delphi.....	7
Figura - 1.7 Sistema de Inyección CRDI Bosch.....	11
Figura - 1.8 Bomba CRDI Bosch.....	12
Figura - 1.9 Funcionamiento de la Bomba CRDI Bosch.....	12
Figura - 1.10 Bomba de alimentación Bosch.....	13
Figura - 1.11 Bomba de alimentación Bosch.....	14
Figura - 1.12 Válvula limitadora de presión.....	15
Figura - 1.13 Sensor de presión Bosch.....	16
Figura - 1.14 Sensor de presión de riel.....	16
Figura - 1.15 Sistema Global Denso.....	17
Figura - 1.16 Bomba HP3 Denso.....	18
Figura - 1.17 Esquema de flujo de combustible Bomba HP3 Denso.....	19
Figura - 1.18 Bomba de alimentación Denso.....	20
Figura - 1.19 Válvula reguladora del caudal - Bomba de alimentación Denso HP3.....	20
Figura - 1.20 Válvula SCV Denso.....	21
Figura - 1.21 Control del porcentaje de servicio de válvula SCV.....	21
Figura - 1.22 Conjunto de Bombeo de la bomba HP3 Denso.....	22
Figura - 1.23 Válvula de descarga. Bomba HP3.....	22

Figura - 1.24 Sensor de temperatura de combustible Bomba HP3.....	23
Figura - 1.25 Sistema Common Rail Delphi con IDM.....	24
Figura - 1.26 Sistema Common Rail Delphi sin MDI.....	25
Figura - 1.27 Bomba Common Rail Delphi.....	25
Figura - 1.28 Sistema Common Rail Delphi sin MDI.....	26
Figura - 1.29 Cámara de presión de la bomba Delphi- etapa de llenado.....	27
Figura - 1.30 Cámara de presión de la bomba Delphi-etapa presurización.....	27
Figura - 1.31 Sistema CRDI Siemens.....	28
Figura - 1.32 Bomba CRDI Siemens.....	28
Figura - 1.33 Partes de bomba CRDI Siemens.....	29
Figura - 1.34 Ingreso de combustible al embolo de la bomba CRDI Siemens.....	30
Figura - 1.35 Presurización de combustible al embolo de la bomba CRDI Siemens.....	31
Figura - 1.36 Sensor de caudal Aichi.....	32
Figura - 1.37 Sensor de presión de riel.....	32
Figura - 1.38 Banco de pruebas Hartridge PGM 10-12.	34

CAPÍTULO II

Figura - 2.1 Diagrama de bloques del simulador para bombas CRDI.....	37
Figura - 2.2 Toma de medidas de la torre del banco.....	38
Figura - 2.3 Toma de medidas de la bomba.....	39
Figura - 2.4 Diseño en CAD de la placa matriz.....	39
Figura - 2.5 Configuración de los puntos de sujeción.....	41
Figura - 2.6 Configuración de las cargas.....	41
Figura - 2.7 Calidad del enmallado.....	42
Figura - 2.8 Esfuerzo de Von Mises con acero estructural.....	43
Figura - 2.9 Esfuerzo de Von Mises con aluminio.....	43

Figura - 2.10 Deformación total con acero estructural.....	44
Figura - 2.11 Deformación total con aluminio.....	44
Figura - 2.12 Factor de seguridad con acero estructural.....	45
Figura - 2.13 Factor de seguridad con aluminio.....	45
Figura - 2.14 Mecanizado de la placa.....	46
Figura - 2.15 Mecanizado de la placa 2.....	47
Figura - 2.16 Prueba de concentricidad.....	47
Figura - 2.17 Diseño CAD del riel y sus accesorios.....	48
Figura - 2.18 Material para la fabricación del riel.....	49
Figura - 2.19 Configuración del punto de sujeción del riel.....	50
Figura - 2.20 Configuración de la presión.....	50
Figura - 2.21 Calidad del enmallado.....	51
Figura - 2.22 Esfuerzo de Von Mises en el riel.....	52
Figura - 2.23 Deformación total en el riel.....	52
Figura - 2.24 Factor de seguridad en el riel.....	53
Figura - 2.25 Mecanizado del riel.....	53
Figura - 2.26 Mecanizado del riel 2.....	54
Figura - 2.27 Circuito de potencia.....	55
Figura - 2.28 Circuito de potencia.....	56
Figura - 2.29 Vista interna caja de circuito de potencia.....	57
Figura - 2.30 Vista externa caja de circuito de potencia.....	57
Figura - 2.31 Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212.....	58
Figura - 2.32 Pines de tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212.....	59
Figura - 2.33 Modulación por ancho de pulso.....	60
Figura - 2.34 Programación gráfica del generador de señal.....	61

Figura - 2.35 Riel de pruebas montado en el banco Common Rail.....	61
Figura - 2.36 Tester montado en el banco Common Rail.....	62
Figura - 2.37 Manómetro de presión banco Common Rail.....	62
Figura - 2.38 Programación en grafica de la lectura de presión.....	64
Figura - 2.39 Ensayo de comprobación de caudal.....	65
Figura - 2.40 Comprobación de la lectura de caudal.....	66
Figura - 2.41 Programación en bloques de la lectura de caudal.....	67
Figura - 2.42 Medición de caudal en Labview.....	67
Figura - 2.43 Medición del periodo de la señal del caudal en Labview.....	67
Figura - 2.44 Programación en bloques de la visualización de los datos de funcionamiento.....	68
Figura - 2.45 Interfaz gráfica del simulador.....	69
Figura - 2.46 Corte de la lámina de acrílico.....	69
Figura - 2.47 Ensamblaje del habitáculo de seguridad.....	70
Figura - 2.48 Habitáculo de seguridad.....	70
Figura - 2.49 Simulador y sus accesorios.....	71
 CAPÍTULO III	
Figura - 3.1 Equipo de calibración de presión.....	73
Figura - 3.2 Montaje del equipo de calibración de presión.....	74
Figura - 3.3 Medición con el equipo de calibración de presión.....	74
Figura - 3.4 Programación en bloques del sensor de presión.....	76
Figura - 3.5 Calibración de la válvula de sobrepresión 1.....	77
Figura - 3.6 Calibración de la válvula de sobrepresión 2.....	77
Figura - 3.7 Parámetros de un banco de pruebas Bosch.....	78
Figura - 3.8 Resultado con un PWM del 80%.....	79

Figura - 3.9 Resultado con un PWM del 81%.....	80
Figura - 3.10 Resultado con un PWM del 83%.....	80
Figura - 3.11 Resultado con un PWM del 85%.....	80
Figura - 3.12 Resultado con un PWM del 87%.....	81
Figura - 3.13 Resultado con un PWM del 88%.....	81
Figura - 3.14 Resultado con un PWM del 89%.....	82
Figura - 3.15 Resultado con un PWM del 90%.....	82
Figura - 3.16 Resultado a 100 rpm.....	83
Figura - 3.17 Resultado a 150 rpm.....	84
Figura - 3.18 Resultado a 200 rpm.....	84
Figura - 3.19 Resultado a 250 rpm.....	85
Figura - 3.20 Resultado a 300 rpm.....	85
Figura - 3.21 Resultado a 350 rpm.....	86
Figura - 3.22 Resultado a 400 rpm.....	86
Figura - 3.23 Interruptor de encendido del banco de pruebas.....	87
Figura - 3.24 Manómetro de presión de alimentación.....	87
Figura - 3.25 Panel de control del banco de pruebas.....	88
Figura - 3.26 Ventanas de configuración de la señal de la válvula.....	88
Figura - 3.27 Botón para congelar la gráfica.....	88
Figura - 3.28 Ventana de visualización de presión.....	88
Figura - 3.29 Indicador de tiempo.....	89
Figura - 3.30 Pasos para realizar la prueba de presión.....	89
Figura - 3.31 Panel de control del banco de pruebas.....	90
Figura - 3.32 Pasos para realizar la prueba de estanqueidad.....	91
Figura - 3.33 Botón para medición de caudal.....	91

Figura - 3.34 Fotografía de la ejecución de pruebas.....	92
Figura - 3.35 Fotografía de la ejecución de pruebas 2.....	92
Figura - 3.36 Captura de pantalla de la prueba de presión.....	93
Figura - 3.37 Análisis de los resultados de la prueba de presión.....	94
Figura - 3.38 Pasos para realizar la prueba de presión 2.....	95
Figura - 3.39 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad.....	95
Figura - 3.40 Análisis de los resultados de la prueba de estanqueidad.....	96
Figura - 3.41 Pasos para realizar la prueba de estanqueidad 2.....	97
Figura - 3.42 Captura de pantalla del caudal a 200 rpm.....	97
Figura - 3.43 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 200 rpm.....	98
Figura - 3.44 Captura de pantalla del caudal a 350 rpm.....	98
Figura - 3.45 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 350 rpm.....	99
Figura - 3.46 Captura de pantalla del caudal a 600 rpm.....	99
Figura - 3.47 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 600 rpm.	100
Figura - 3.48 Captura de pantalla del caudal a 600 rpm.....	100
Figura - 3.49 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 1000 rpm.....	101
Figura - 3.50 Captura de pantalla de la prueba de presión 2.....	107
Figura - 3.51 Captura de pantalla de la prueba de presión 3.....	107
Figura - 3.52 Captura de pantalla de la prueba de presión 4.....	107
Figura - 3.53 Captura de pantalla de la prueba de presión 5.....	108
Figura - 3.54 Captura de pantalla de la prueba de presión 6.....	108
Figura - 3.55 Captura de pantalla de la prueba de presión 7.....	108
Figura - 3.56 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 2.	109
Figura - 3.57 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 3.....	109
Figura - 3.58 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 4.	109

Figura - 3.59 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 5.	110
Figura - 3.60 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 6.	110
Figura 3.61 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 7.	110

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla - 1.1 Partes de la bomba CRDI.....	5
Tabla - 1.2 Especificaciones de La bomba de alimentación Bosch.....	14
Tabla - 1.3 Especificaciones de La bomba de presión Bosch.....	14
Tabla - 1.4 Funciones de las Piezas Bomba HP3 Denso.....	19
Tabla - 1.5 Características del valor de resistencia del sensor de temperatura de combustible.....	23
Tabla - 1.6 Características del sensor de cudad Aichi.....	33
Tabla - 1.7 Parametros que muestra la pantalla del banco de pruebas Hartridge.....	35

CAPÍTULO II

Tabla - 2.1 Propiedades físicas del acero estructural.....	40
Tabla - 2.2 Propiedades físicas del aluminio.....	40
Tabla - 2.3 Costo de materiales.....	46
Tabla - 2.4 Elementos del circuito de potencia.....	56
Tabla - 2.5 Datos de prueba del sensor de presión.....	63
Tabla - 2.6 Coeficientes de la curva del sensor de presión. Fuente: Autores.....	64
Tabla - 2.7 Accesorios del simulador.....	71

CAPÍTULO III

Tabla - 3.1 Valores de voltaje y presión – prueba de sensor con calibrador de manómetros.....	75
Tabla - 3.2 Coeficientes de la curva del sensor de presión.....	75
Tabla - 3.3 Caudal máximo de una bomba Bosch.....	78

Tabla - 3.4 Ajustes del simulador para la determinación del PWM.....	79
Tabla - 3.5 Ajustes del simulador para la determinación de las RPM.....	83
Tabla - 3.6 RPM correspondientes a cada prueba.....	87
Tabla - 3.7 Resultados de las pruebas de presión.....	93
Tabla - 3.8 Resultados de las pruebas de estanqueidad.....	96
Tabla - 3.9 Resultados de las pruebas de caudal a 200 rpm.....	98
Tabla - 3.10 Resultados de las pruebas de caudal a 350 rpm.....	99
Tabla - 3.11 Resultados de las pruebas de caudal a 600 rpm.....	99
Tabla - 3.12 Resultados de las pruebas de caudal a 1000 rpm.....	100

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica - 1.1 Curva Flujo/Intensidad de corriente. Válvula SCV.....	8
Gráfica - 1.2 Masa de bombeo de combustible en apertura pequeña de la SCV.....	9
Gráfica - 1.3 Masa de bombeo de combustible en apertura grande de la SCV.....	10
Grafica - 2.1 Curva del comportamiento de la presión con respecto al voltaje.....	64
Grafica - 3.1 Curva del sensor de presión.....	75

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación - 2.1 Ciclo de trabajo o Duty Cycle.....	60
Ecuación - 2.2 Ecuación del comportamiento de la presión con respecto al voltaje.....	63
Ecuación - 2.3 Ecuación del conteo de pulsos.....	66
Ecuación - 2.4 Ecuación del factor de conversión de frecuencia-caudal.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ECM	Modulo de Control Electrónico
CRDI	Inyección diesel riel común
SCV	Válvula de control de succión
ECU	Unidad de control de motor (Engine Control Unit)
PWM	Modulación por ancho de pulso
FRP	Presión del riel de combustible
IMV	Válvula de medición de entrada de combustible (Inlet Metering Valve)
HP	Presión Alta (High Pressure)
DCU	Unidad de control diesel (Diesel Control Unit)
(HP3)	Bomba de lesión Denso
IDM	Módulo de control de inyector (Inyector Drive Module)
PCM	Modulo de Control del Tren de Potencia (Powertrain Control Module)
CAD	Diseño asistido por computador
USB	Bus serie universal (universal serial bus)
NI	Nationals Instruments
OEM	Fabricante de equipos originales (Original Equipment Manufacturer)

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL FUNCIONAMIENTO, VALORES DE TRABAJO Y FUNCIÓN DE LAS DIFERENTES PARTES DE LAS BOMBAS CRDI

1.1. INTRODUCCIÓN

Antes de señalar algunas de las características más importantes de cada sistema de inyección Common Rail, es necesario mencionar que en el presente capítulo se busca aclarar inicialmente el funcionamiento de un sistema Common Rail de forma generalizada, y seguidamente se explica el funcionamiento de cada sistema separándolas por la marca del fabricante, siempre enfocándonos en la bomba de suministro de cada uno.

1.2. SISTEMAS COMMON RAIL

Los vehículos operados con gasoil, también llamado en nuestro medio Diésel, toman cada día mucha importancia debido a varios factores, entre estos está la problemática mundial respecto al costo del combustible, y los efectos de emisiones de gases de escape en la salud de seres vivos y el ambiente.

El desarrollo en la gestión electromecánica de la inyección en los nuevos sistemas diésel ha permitido incorporar la inyección diésel en vehículos cada día más pequeños, contrario al pensamiento que se tenía anteriormente, lo cual relacionaba el combustible diésel solo con camiones.

El motor diésel tiene un principio de operación diferente a un motor a Nafta¹, lo cual cambia completamente el concepto de cómo se desarrolla la combustión. El principio diésel se basa en una reacción química espontánea la cual es activada por el ingreso del combustible a alta presión en una cámara de combustión que se encuentra llena de aire comprimido con una temperatura elevada, con lo cual se logra una combinación efectiva que logra encender el combustible.

Si bien este principio no ha cambiado, los nuevos sistemas Common Rail permiten manejar algunos factores como los momentos de la inyección y lograr una mayor eficiencia de funcionamiento, pero sobre todo no se debe olvidar la finalidad de todos estos modernos sistemas que es reducir el número de partículas contaminantes.

1.2.1. Sistemas utilizados en la actualidad

En la actualidad existen varias marcas que fabrican sistemas de inyección Common Rail, de las cuales estudiaremos brevemente sus principales características y peculiaridades, enfocándonos en las bombas que utilizan cada sistema.

Entre las gestiones más comunes tenemos:

- Sistema Common Rail de Bosch
- Sistema Common Rail de Denso
- Sistema Common Rail de Delphi
- Sistema Common Rail de Siemens

¹ Combustible utilizado en motores de encendido provocado, también llamado Gasolina

En todos estos sistemas las diferentes gestiones electrónicas hacen uso de componentes que son muy similares respecto al funcionamiento como es el caso de sensores y actuadores por esta razón se explican a continuación de forma general los diferentes elementos.

1.2.2. Elementos de un sistema Common Rail

Los componentes principales de un sistema Common Rail se dividen en dos grupos, los que suministran combustible generalmente llamado circuito de baja presión y los que forman parte del circuito que suministra el combustible a alta presión.

El circuito de baja presión consta de:

- Depósito de combustible con filtro previo.
- Bomba previa.
- Filtro de combustible.
- Tuberías de combustible de baja presión.

El circuito de alta presión consta de:

- Bomba de alta presión con válvula reguladora de presión.
- Tuberías de combustible de alta presión.
- Rail como acumulador de alta presión con sensor de presión del Rail, válvula limitadora de la presión y limitador de flujo.
- Inyectores.
- Tuberías de retorno de combustible.

Todos estos componentes son los más utilizados en el sistema, y según el fabricante, estos pueden aumentar según el nivel de control y tecnología en el sistema.

A continuación se identifican los componentes en el siguiente esquema de la figura 1.1:

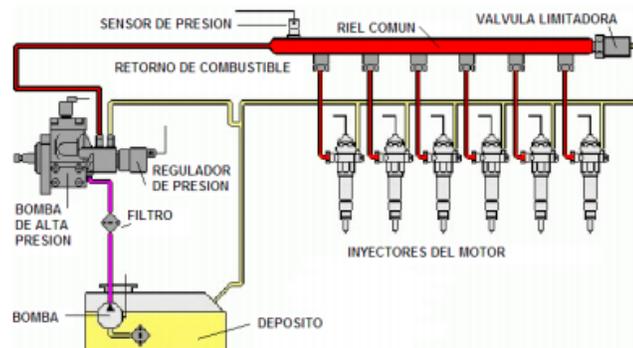


Figura 1.1 Componentes del sistema CRDI. Fuente: [1]

1.2.3. Gestión electrónica del sistema Common Rail

El sistema CRDI es controlado principalmente por el conductor por medio de los controles que tiene el vehículo para ser conducido; pero el que lleva acabo el correcto funcionamiento del sistema es el ECM o Modulo de Control Electrónico, el cual recibe la información proporcionada por los diferentes sensores del vehículo para posteriormente controlar los actuadores del sistema.

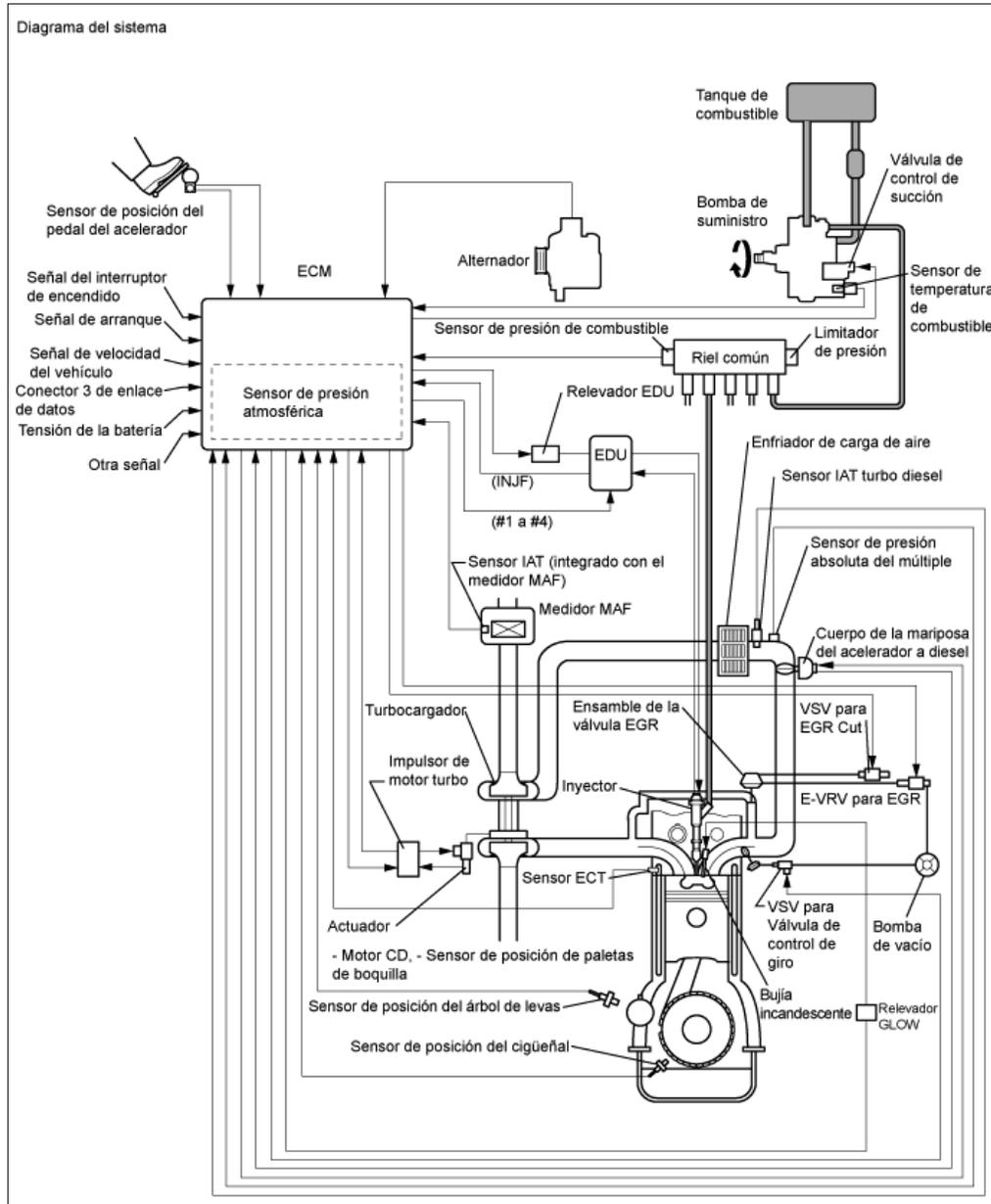


Figura 1.2 Diagrama del sistema CRDI. Fuente: [1]

1.3. BOMBA DE ALTA PRESIÓN CRDI

Tiene asignada la función de presurizar el combustible a la intensidad necesaria para la inyección a alta presión.

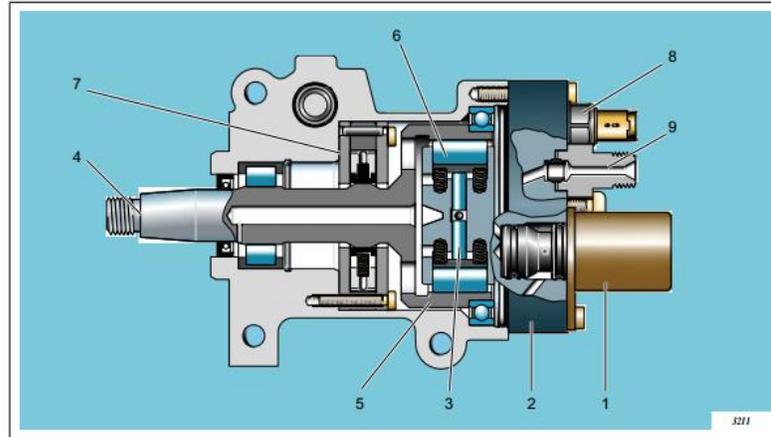


Figura 1.3 Vista seccionada de una bomba de presión. Fuente: [2]

Tabla 1.1 Partes de la bomba CRDI. Fuente: [2]

1	SCV ¹	6	Rodillo
2	Bomba de alta presión / Cabezal hidráulico	7	Bomba de transferencia
3	Embolo pistón	8	Sensor de temperatura de combustible
4	Eje de transmisión	9	Salida de alta presión
5	Leva rotativa		

Las bombas CRDI están basadas por un conjunto de levas y pistones radiales, los cuales se encargan de presurizar el combustible que reciben desde la bomba de transferencia, la misma genera una presión constante llamada presión de transferencia que está entre los 6 y 10 Bares según el fabricante.

Las bombas de presión disponen de un actuador de llenado que se encuentra justo antes de la etapa de presurización llamado SCV y permite controlar la cantidad de combustible por medio de la ECU (Engine Control Unit), quien determina la frecuencia y el PWM² que necesita la bobina para obtener la selección de paso de combustible requerida por el motor.

1.3.1. Funcionamiento de la Bomba CRDI

Para mejor explicación tomaremos como ejemplo la bomba Denso montada en vehículos Toyota, la cual es una bomba tipo pistón que trabaja por la rotación del eje, con una leva excéntrica que permite el movimiento alternante de los pistones al interior de la bomba.

¹ Válvula de control de succión.

² (pulse-width modulation) Modulación por ancho de pulsos: Modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica.

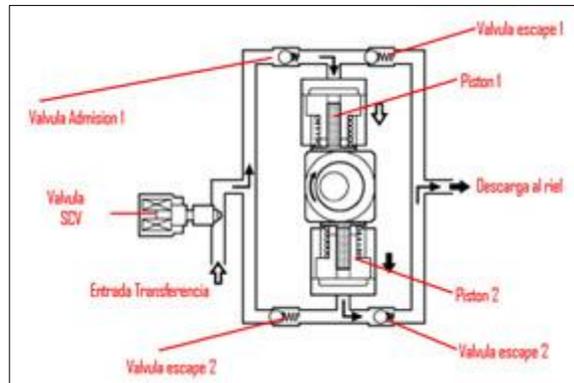


Figura1.4 Esquema del funcionamiento de la bomba de alta presión. **Fuente:** [1]

La operación de la bomba es sencilla, en la Figura 1.4, el eje con leva excéntrica esta movido por el motor de combustión, cada vez que la excéntrica se gira permite el movimiento alternante de los pistones, cada uno de los pistones cuenta con una válvula de admisión y una de escape, la válvula de admisión comunica con el conducto de la presión de trasferencia que viene desde una bomba de engranes instalada en el mismo conjunto de la bomba, el paso de fluido a las válvulas de admisión está controlado por una válvula (Solenoides) que es manejada electrónicamente por el ECM, este control es pulsante y depende en gran medida de la presión que quiera generar el sistema, esta válvula se denomina SCV¹.

Cada vez que los pistones reciben el fluido por la válvula de admisión en la carrera descendente del pistón, llenan la cámara de combustible, en el siguiente movimiento del pistón impulsado por la excéntrica, comprime el combustible abriendo la válvula de escape y enviando el fluido directamente al riel de presión, donde el ECM mide electrónicamente la presión con el sensor de presión del riel FRP². A esta presión se le denomina la presión de alta y puede llegar en algunos motores hasta los 2200 Bares.

Estos elementos se pueden apreciar en una fotografía de la bomba que se muestra a continuación en la figura 1.5:

¹ Válvula de control de succión.

² Fuel Rail Pressure (presión de combustible del riel)

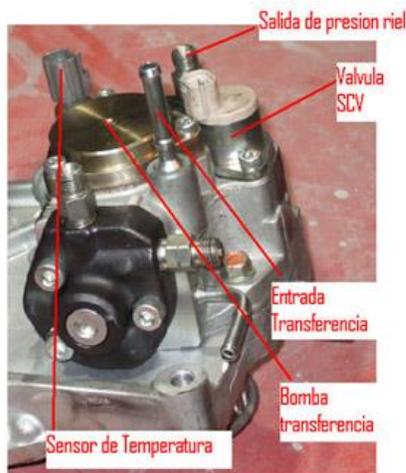


Figura1.5 Partes externas de la bomba CRDI. **Fuente:** [3]

Ahora como en estos sistemas el control de la presión es completamente electrónico, existe una serie de ajustes que el ECM, continuamente está realizando sobre el sistema de la bomba y gran parte de ellos están enfocados hacia el porcentaje de control electrónico que el sistema realiza sobre la válvula SCV. [1]

Cabe recalcar que existe un gran número de modelos de bombas de presión; dependiendo del nivel de control electrónico y la magnitud del motor al que son aplicadas, estas varían en sus dimensiones y elementos auxiliares; pero a pesar de lo dicho, todas las bombas tienen el mismo principio de funcionamiento.

1.3.2. Válvula SCV

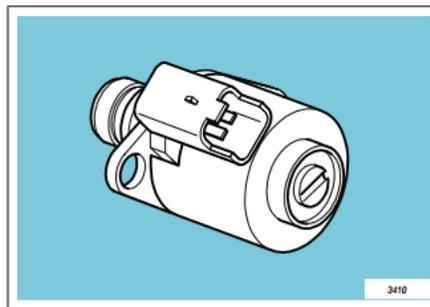


Figura1.6 Válvula IMV Delphi. **Fuente:** [2]

También llamada IMV¹ en los sistemas Delphi; esta válvula tiene similares características en todos los fabricantes y está encargada de controlar la presión del riel mediante la

¹ Inlet Metering Valve (Válvula de medición de entrada de combustible) En los sistemas Delphi ubicada en la bomba de presión.

regulación la cantidad de combustible enviado a los componentes de bombeo de la HP¹. Este actuador tiene un doble papel como se explica de la siguiente manera:

- En primer lugar, mejora el rendimiento del sistema de inyección, ya que la bomba HP sólo comprime la cantidad de combustible necesario para mantener la presión del riel requerida por el sistema.
- En segundo lugar, reduce la temperatura en el depósito de combustible. De hecho, cuando el exceso de combustible se envía al circuito de retorno, la expansión del fluido (a partir de la presión del raíl a la presión atmosférica) implica una gran cantidad de calor generando un aumento de la temperatura del combustible enviado de vuelta al tanque.

Para evitar la generación de una temperatura demasiado elevada, la válvula SCV reduce la tasa de descargarse, enviando el combustible sobrante de vuelta al depósito.

1.3.2.1. Operación

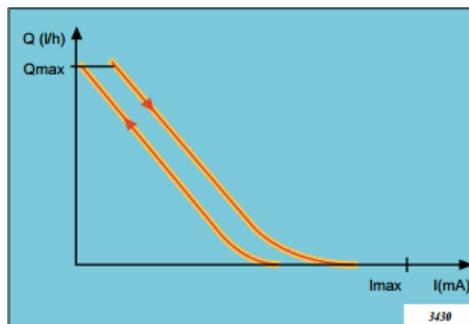
El actuador de baja presión se utiliza para medir la cantidad de combustible enviado a los elementos de bombeo de la bomba de HP; de tal manera que la presión medida por el sensor de HP es igual al nivel de presión exigido por el DCU².

Cada punto operativo debe tener la siguiente condición:

Importe introducido en la bomba HP = Volumen inyectado + cantidad de descarga del inyector + cantidad de control del inyector.

La SCV está normalmente abierta cuando no está siendo alimentado pues se compone de dos muelles de diferentes rigideces y cargas, por lo que no puede ser utilizado como un dispositivo de seguridad para apagar el motor si es necesario.

La curva flujo / corriente se muestra en el gráfico opuesto.



Gráfica 1.1 Curva Flujo/Intensidad de corriente. Válvula SCV. Fuente: [2]

¹ High Pressure (Presión Alta) Se refiere a la bomba de alta presión.

² Diesel Control Unit (Unidad de control de diesel)

La DCU determina el valor de la corriente a ser enviado a la SCV en función de:

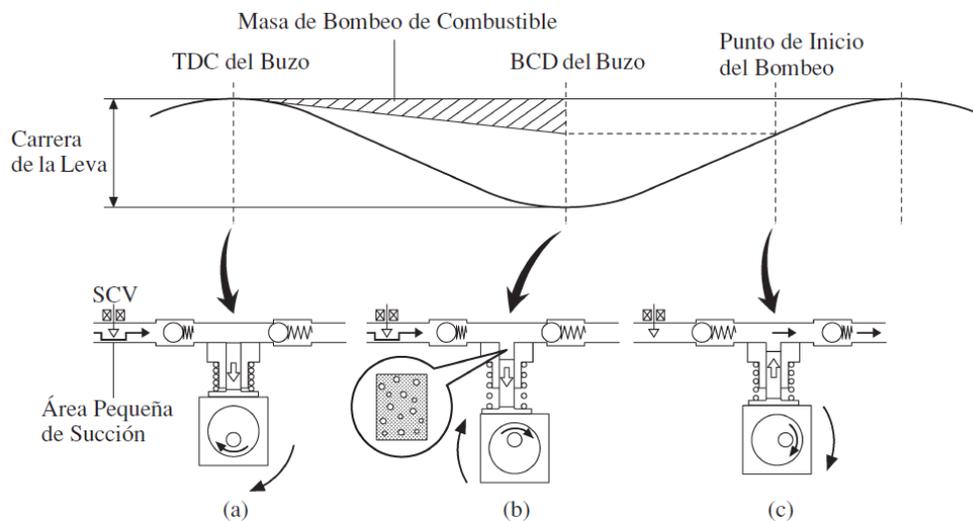
- La velocidad del motor.
- Flujo exigido.
- Presión del carril exigido.
- Medida de presión del raíl.
- Temperatura del combustible
- El modo de combustión. [2]

1.3.2.1.1. Abertura Pequeña de la SCV

(a) Cuando la abertura de la SCV es pequeña, el área de succión de combustible se mantiene pequeña, lo cual disminuye la cantidad transferible de combustible.

(b) El buzo hace una carrera completa, sin embargo, el volumen de succión se reduce debido al área de succión pequeña. Por lo tanto, la diferencia de volumen entre el volumen de geometría y el volumen de succión está en el estado del vacío.

(c) El bombeo comenzará en el momento en que la presión de combustible se haga mayor que la presión del riel-común. [3]



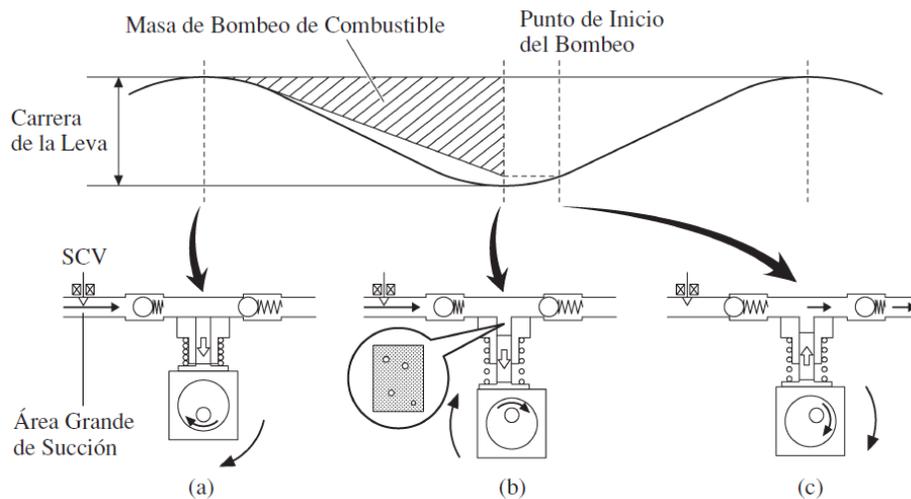
Gráfica 1.2 Masa de bombeo de combustible en apertura pequeña de la SCV. Fuente: [3]

1.3.2.1.2. Abertura Grande de la SCV

(a) Cuando la abertura de la SCV es grande el área de succión del combustible se mantiene grande, lo cual incrementa la cantidad transferible de combustible.

(b) Si el buzo hace la carrera completa, el volumen de succión aumentará porque el área de succión es grande.

(c) El bombeo comenzará en el momento en que la presión de combustible he haga mayor que la presión del riel-común. [3]



Gráfica 1.3 Masa de bombeo de combustible en apertura grande de la SCV. **Fuente: [3]**

1.4. Sistema Common Rail Bosch

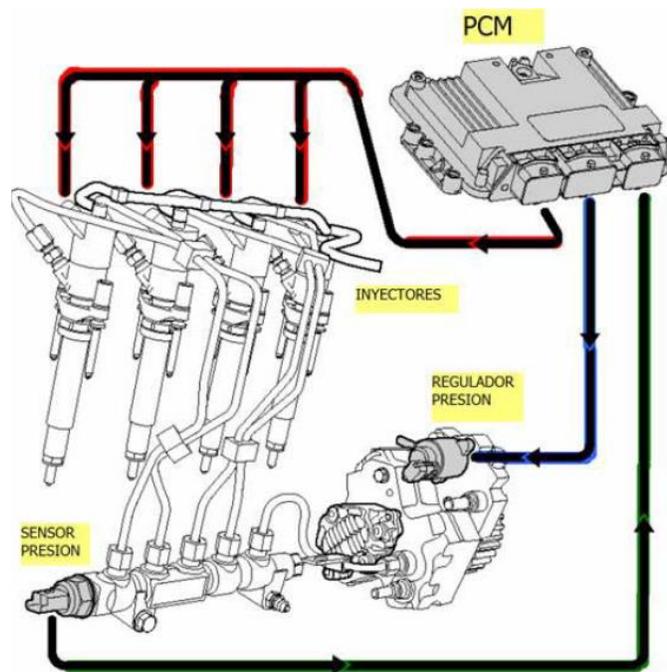


Figura 1.7 Sistema de Inyección CRDI Bosch. Fuente: [3]

En el esquema se puede apreciar que el control de los inyectores es realizado directamente por el PCM el cual se encuentra recibiendo información de cada uno de los sensores y los requerimientos de actividad del motor como el encendido y los cambios de carga con la línea verde se puede apreciar la conexión con el sensor de presión del riel el cual trabaja en un lazo cerrado con la válvula reguladora de presión sombreada en azul, manteniendo permanentemente un estricto control de la presión y elevando así el rendimiento de la inyección.

La presión del riel se mantiene estable de acuerdo a cada consideración del PCM, esta presión llega por medio de la bomba de combustible por unas tuberías especiales para este fin.

1.4.1. Bomba CRD Bosch

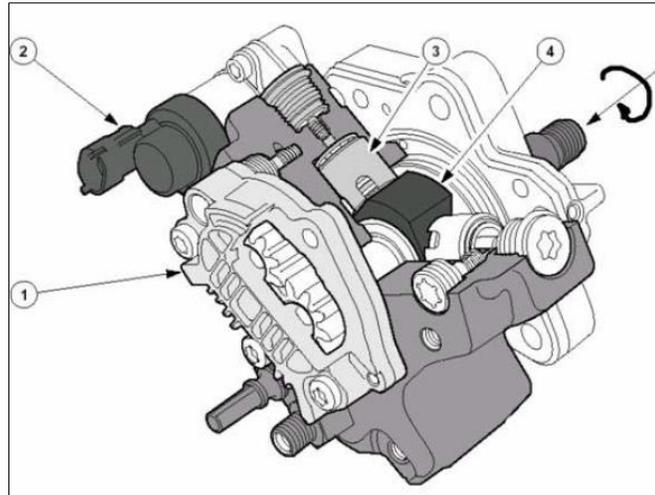


Figura 1.8 Bomba CRDI Bosch. Fuente: [4]

La presión se genera al interior de la bomba de acuerdo al movimiento del eje como lo muestra la flecha en torsión de la figura, cada vez que se mueve el eje de la bomba se acciona una bomba de transferencia 1 luego este combustible ingresa a unos cilindros de presión 3 en los cuales una excéntrica 4 está permanentemente creándoles un movimiento alternativo, la presión depende de que la válvula 2 permita que se genere, esta válvula simplemente abre y cierra un pasaje para este fin y es controlada por PWM de parte del PCM en el esquema inferior se ve a detalle el funcionamiento de los pistones generadores de presión. [3]

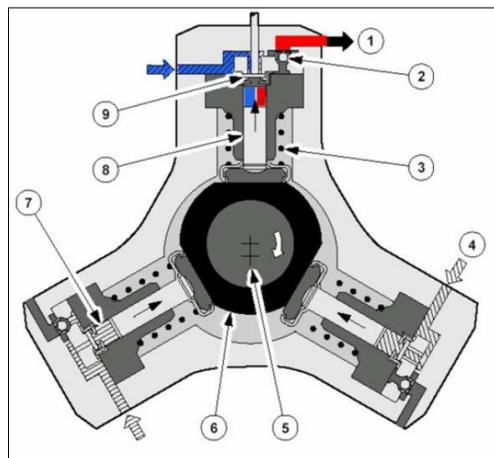


Figura 1.9 Funcionamiento de la Bomba CRDI Bosch. Fuente: [3]

El combustible ingresa por el conducto sombreado en azul proveniente de la bomba de transferencia y se ubica en el conducto de baja presión una vez que el eje de la bomba está

en movimiento el eje impulsor 5 el cual esta agarrado a la leva excéntrica 6 permite que en cada una de las cámaras se genere un efecto de compresión de combustible , para esto hay que vencer la tensión del resorte 3 es así como cuando el embolo de bombeo 8 cumple su carrera descendente, succiona al interior de la cámara 7 el combustible de baja presión permitiendo la apertura de la válvula de entrada 9, una vez que la excéntrica vuelve a permitir el ascenso del embolo se comprime el combustible hasta el nivel de vencer la válvula de salida 2 y llevando el combustible presurizado hacia la rampa de inyección.

La presión de baja está dispuesta por una bomba de transferencia de engranes la cual está colocada en el mismo cuerpo del conjunto de la bomba, la imagen de esta se muestra a continuación.

1.4.1.1. Bomba de Alimentación

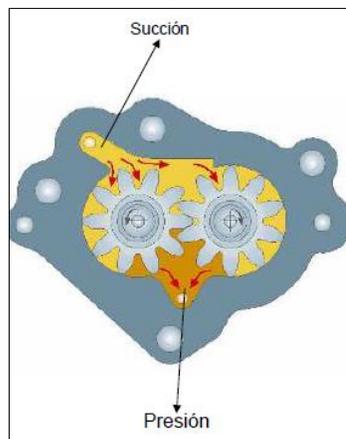


Figura 1.10 Bomba de alimentación Bosch. Fuente: [4]

La bomba de engranaje es una bomba de pre elevación con un funcionamiento puramente mecánico en versión auto aspirante, la cual mantiene a la bomba de alta presión siempre alimentada en cualquier condición.

La bomba de engranaje está directamente conectada a la bomba de alta presión, al girar los engranajes, el combustible es succionado entre los lóbulos y a través de las cámaras es conducido para el lado de ceración de presión. Entonces, penetra en la carcasa de la bomba de alta presión. *La construcción de los lóbulos de los engranajes evita el retorno de combustible.*

Ventajas de la bomba mecánica de engranajes:

- Menor propensión a ensuciarse (protección contra partículas)
- Fiabilidad
- Vida útil
- Resistencia a sacudidas

1.4.1.2. Especificaciones de la bomba

Tabla 1.2 Especificaciones de La bomba de alimentación Bosch. Fuente: [5]

Bomba de Alimentación	
Caudal máximo por vuelta	3,1 cc/vuelta
Caudal max en función del tiempo	40 ltr./h a 300 rpm 120 ltr./h a 2.500 rpm

Tabla 1.3 Especificaciones de La bomba de presión Bosch. Fuente: [5]

Bomba de Presión	
Presión máx	1.350 bares
Gama de regímenes	75 ... 3.000 1/min
Caudal máximo/vuelta	0,6 ... 0,7 cc/vuelta
Potencia absorbida	3,5 kW a régimen nominal y una presión en el conducto común (Rail) de 1.350res

1.4.2. Válvula limitadora de presión

La misión de esta válvula corresponde a la de una válvula de sobrepresión. La válvula limitadora de presión limita la presión en el Rail dejando libre una abertura de salida en caso de un aumento demasiado grande. La válvula admite en el Rail una presión máxima de 1500 a 2000 bar brevemente.



Figura 1.11 Válvula limitadora de presión Bosch. Fuente: [6]

1.4.2.1. Estructura y función

Esta válvula trabaja mecánicamente y consta de las siguientes piezas:

- Un cuerpo con rosca exterior para enroscarla en el Rail.
- Un empalme a la tubería de retorno hacia el depósito.
- Un émbolo móvil.
- Un muelle.

El cuerpo presenta hacia el lado de conexión del Rail un taladro que se cierra por parte del extremo cónico del émbolo en el asiento estanco en el interior del cuerpo. Bajo una presión de servicio normal (hasta 1350 bar), un muelle presiona sobre el émbolo estancando el combustible en el asiento, de forma que se mantiene cerrado el Rail.

Solamente cuando se sobrepasa la presión máxima del sistema, el émbolo se levanta por la presión en el Rail contra la fuerza del muelle, pudiendo escapar el combustible que se encuentra bajo presión.

El combustible es conducido entonces por canales en un taladro céntrico del émbolo y retorna al depósito de combustible a través de una tubería colectora. Al abrir la válvula, sale combustible del Rail, la consecuencia es una reducción de presión en el Rail.

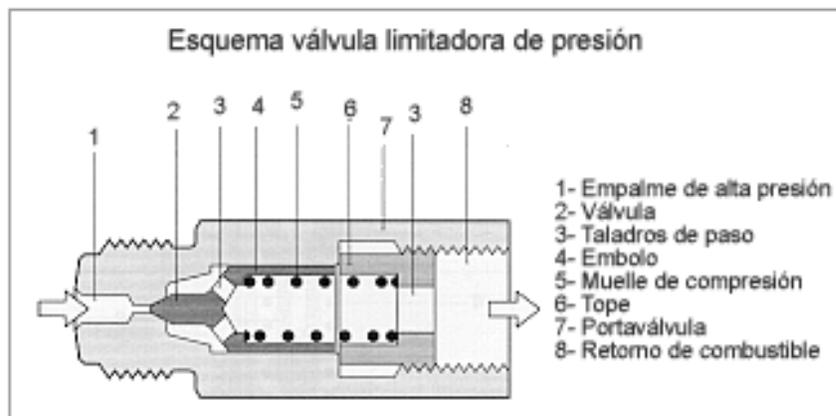


Figura 1.12 Válvula limitadora de presión. Fuente: [7]

1.4.3. Sensor de presión Common Rail Bosch



Figura 1.13 Sensor de presión Bosch. Fuente: Autores.

El sensor de presión trabaja con una resistencia eléctrica la cual es aplicada en capas sobre la membrana del sensor, esta resistencia varía si cambia su forma. Este cambio de forma (aprox. 1mm a 1500 bar) que se establece por la presión del sistema, origina una variación de la resistencia eléctrica y genera un cambio de tensión en el puente de resistencia abastecido con 5 V la señal del sensor. Esta tensión es del orden de 0mV a 70 mV (conforme a la presión existente) y es amplificada por el circuito evaluador hasta un margen de 0,5V a 4,5 V. [8]

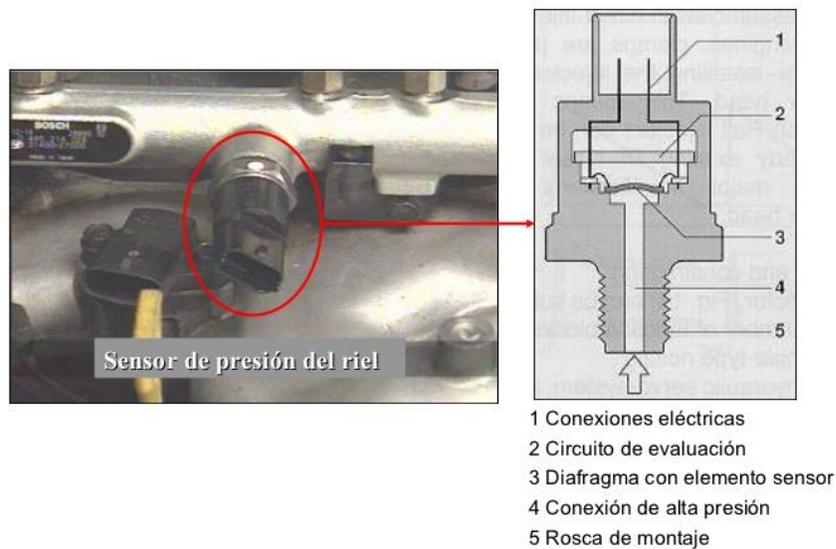


Figura 1.14 Sensor de presión de riel. Fuente: [9]

Este sensor de presión dispone de 3 cables de conexión con la computadora, tal como ocurre con otros sensores de presión, uno de los cables es el positivo de alimentación de 5 voltios, el cable de salida de señal hacia la computadora y la masa del sensor.

1.5. Sistema Common Rail Denso

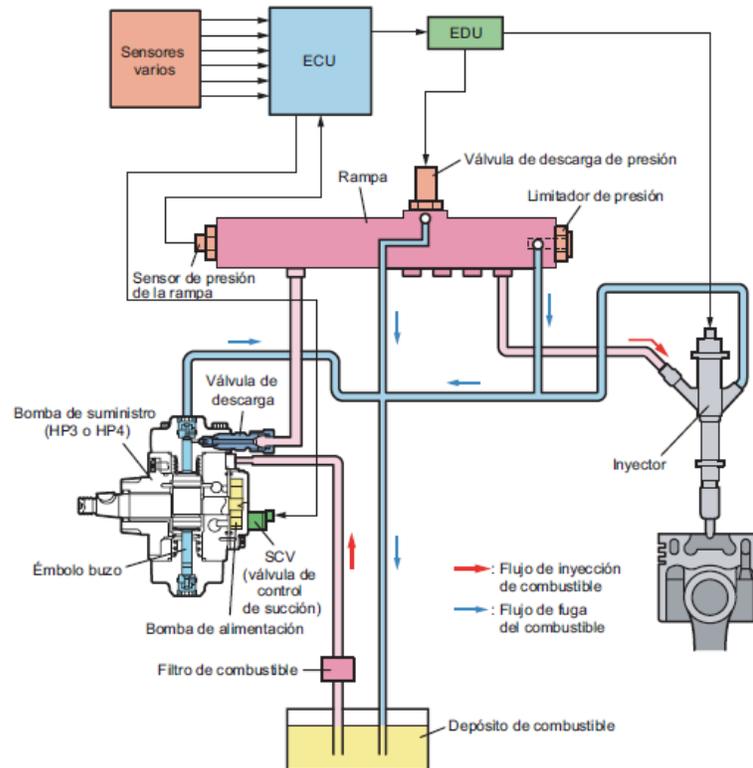


Figura 1.15 Sistema Global Denso Fuente: [10]

Se puede observar que los inyectores son controlados directamente por el ECU, el cual ejerce control sobre las válvulas de presión y dosificación de flujo para controlar la presión. Dicha presión es medida por el sensor ubicado en el riel mostrado en las líneas del ECU, este tipo de control también trabaja en un lazo cerrado para buscar la eficiencia de la presión.

1.5.1. Bomba de suministro Denso (HP3)

Esta bomba de suministro de tipo HP3 es compacta, pesa poco y proporciona una presión lo suficientemente alta para ser montada sobre todo en vehículos de pasajeros y en camiones pequeños.

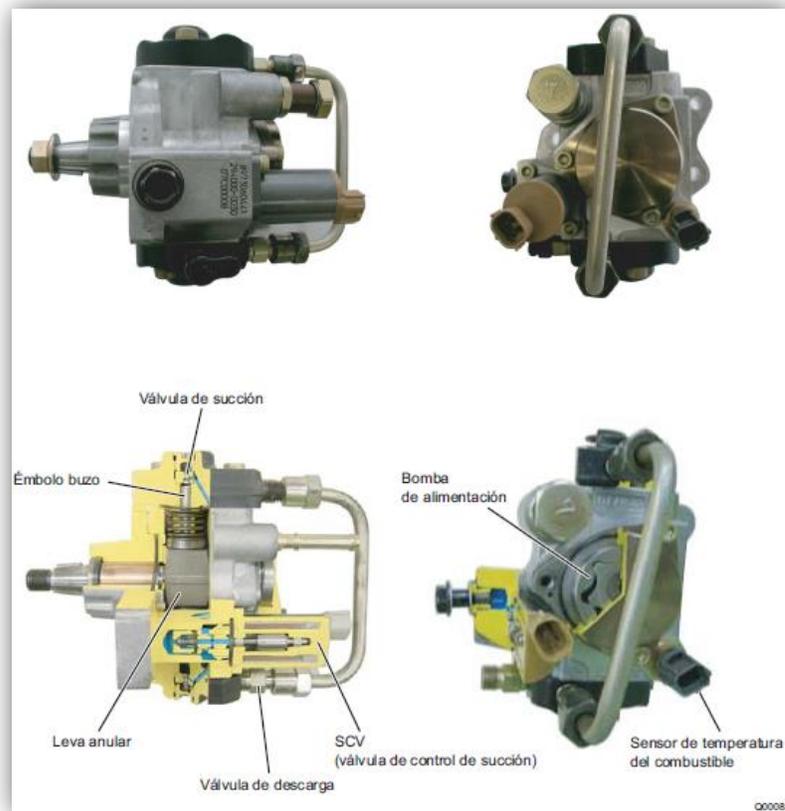


Figura 1.16 Bomba HP3 Denso. Fuente: [10]

1.5.1.1. Construcción y características

- La bomba de suministro se compone principalmente de la unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, dos émbolos buzo), la SCV (válvula de control de succión), el sensor de temperatura del combustible y la bomba de alimentación (tipo trocoide), y se activa con una rotación o con media rotación del motor.
- Los dos émbolos buzo de la unidad de bomba compacta están colocados simétricamente por encima y por debajo de la parte exterior de la leva anular.
- La SCV controla el volumen de descarga del combustible, con el fin de reducir la carga de actuación y evitar la subida de temperatura del combustible. Además, hay dos tipos de SCV de HP3: el tipo normalmente abierto (la válvula de succión se abre cuando no está excitada) y el tipo normalmente cerrado (la válvula de succión se cierra cuando no está excitada). [10]

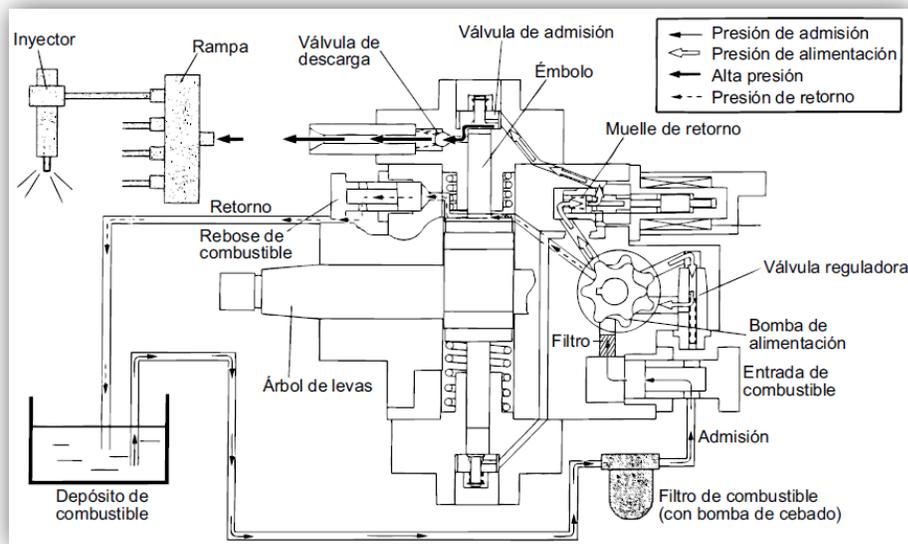


Figura 1.17 Esquema de flujo de combustible Bomba HP3 Denso. Fuente: [11]

1.5.1.2. Funciones de las piezas componentes

A continuación se indica las funciones de los componentes principales de la bomba HP3 tabuladas de la siguiente manera:

Tabla 1.4 Funciones de las Piezas Bomba HP3 Denso Fuente: [11]

Piezas componentes		Funciones
Bomba de alimentación		Aspira el combustible desde el depósito y se lo suministra al émbolo buzo.
Válvula reguladora		Regula la presión del combustible en la bomba de suministro.
SCV (válvula de control de succión)		Controla el volumen de combustible que se suministra a los émbolos buzo.
Unidad de bomba	Leva excéntrica	Activa la leva anular.
	Leva anular	Activa el émbolo buzo.
	Émbolo buzo	Se mueve en vaivén para aspirar y comprimir el combustible.
Válvula de succión		Evita el flujo inverso de combustible comprimido hacia la SCV.
Válvula de descarga		Evita el flujo inverso desde la rampa del combustible que se bombea desde el émbolo buzo.
Sensor de temperatura del combustible		Detecta la temperatura del combustible.

1.5.1.3. Bomba de alimentación

La bomba de alimentación de tipo trocoide integrada en la bomba de suministro aspira el combustible del depósito y lo suministra a los dos émbolos buzo a través del filtro de combustible y la SCV (válvula de control de succión). El eje impulsor activa los rotores externo e interno de la bomba de alimentación, haciendo que éstos empiecen a girar. Según

el espacio que aumenta y disminuye por el movimiento de los rotores externo e interno, la bomba de alimentación aspira combustible dentro de la lumbrera de succión y bombea el combustible fuera de la lumbrera de descarga. [10]

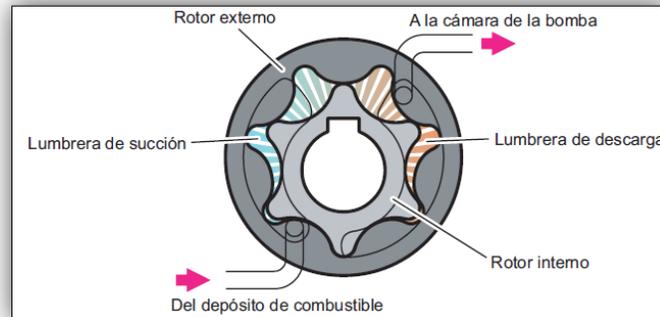


Figura 1.18 Bomba de alimentación Denso Fuente: [11]

1.5.1.4. Válvula reguladora

La válvula reguladora mantiene la presión de alimentación de combustible (presión de descarga) por debajo de un cierto nivel. Si aumenta el régimen de la bomba y la presión de suministro excede la presión fijada en la válvula reguladora, la válvula se abre venciendo la fuerza del muelle para permitir el retorno del combustible al lado de succión. [10]

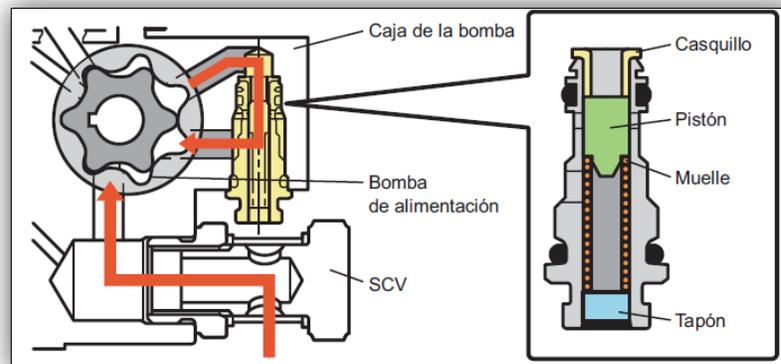


Figura 1.19 Válvula reguladora del caudal de la Bomba de alimentación Denso HP3 Fuente: [11]

1.5.1.5. Válvula de control de succión SCV Denso

Es una válvula electromagnética de tipo solenoide lineal para controlar el tiempo durante el cual se aplica corriente desde la ECU a la SCV (control de porcentaje de servicio), y de esta forma controla el volumen de flujo de combustible al émbolo buzo a alta presión.

Cuando la corriente fluye a través de la SCV, el inducido de su interior se mueve según el porcentaje de servicio. El volumen de flujo de combustible cambia según el funcionamiento del inducido y se controla en función del tamaño de la apertura del conducto de combustible del cilindro. Como resultado, se controla el volumen de combustible de

admisión para conseguir la presión de rampa deseada y disminuye la carga de actuación de la bomba de suministro. [10]

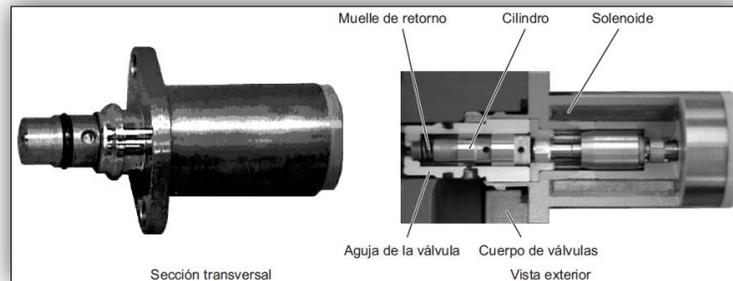


Figura 1.20 Válvula SCV Denso **Fuente: [11]**

Hay dos tipos de SCV de HP3: el tipo normalmente abierto (la válvula de succión se abre cuando no está excitada) y el tipo normalmente cerrado (la válvula de succión se cierra cuando no está excitada). Cada uno de estos tipos funciona a la inversa del otro.

La ECU del motor emite señales de onda en diente de sierra con una frecuencia constante. El valor de la corriente es el valor efectivo (medio) de estas señales. Cuando aumenta el valor efectivo, disminuye la apertura de la válvula, y cuando disminuye el valor efectivo, la apertura de la válvula aumenta. [10]

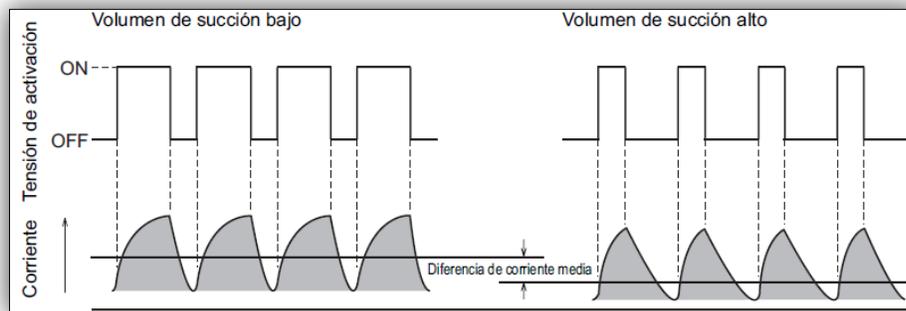


Figura 1.21 Control del porcentaje de servicio de válvula SCV **Fuente: [11]**

- Cuando la duración de la excitación de la SCV (tiempo de servicio ON) es corta. La corriente media que fluye a través de la válvula solenoide es pequeña, el cilindro retorna por la fuerza del muelle y la apertura de la válvula es grande. Como resultado, el volumen de succión de combustible aumenta.
- Cuando la duración de la excitación de la SCV (tiempo de servicio ON) es larga. La corriente media que fluye a través de la válvula solenoide es grande, el cilindro se aprieta hacia afuera y la apertura de la válvula es pequeña. Como resultado, el volumen de succión de combustible disminuye. [10]

1.5.1.6. Unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, émbolo buzo)

La leva excéntrica está conectada al árbol de levas y la leva anular está instalada sobre la leva excéntrica. Hay dos émbolos buzo en posición simétrica por encima y por debajo de la leva anular.

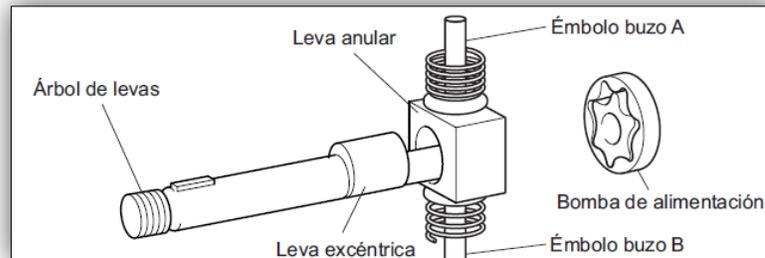


Figura 1.22 Conjunto de Bombeo de la bomba HP3 Denso Fuente: [10]

Debido a que la rotación del árbol de levas hace que la leva excéntrica rote excéntricamente, la leva anular sigue este movimiento y se mueve de arriba abajo, lo que a su vez mueve los dos émbolos buzo recíprocamente. (La propia leva anular no gira) [11]

1.5.1.7. Válvula de descarga

La válvula de descarga de HP3 cuenta con un elemento integrado que consta de la bola de retención, muelle y montura. Cuando la presión del émbolo buzo excede la presión de la rampa, la bola de retención se abre para descargar combustible. [10]

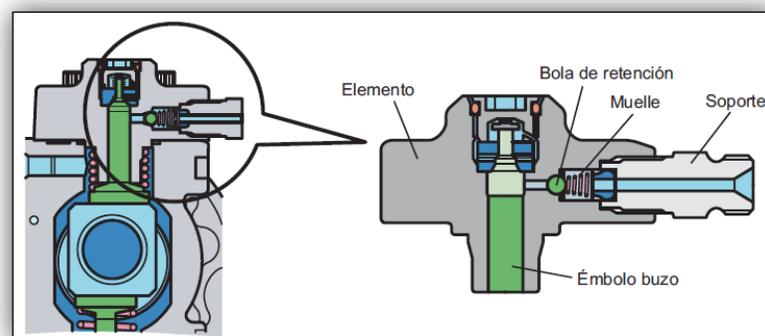


Figura 1.23 Válvula de descarga. Bomba HP3 Fuente: [11]

1.5.2. Sensor de temperatura del combustible

El sensor de temperatura del combustible está instalado en la parte de admisión del combustible y tiene las características de un termistor en el cual la resistencia eléctrica cambia con la temperatura para poder detectar la temperatura del combustible. [10]

El componente de detección utiliza un termistor.

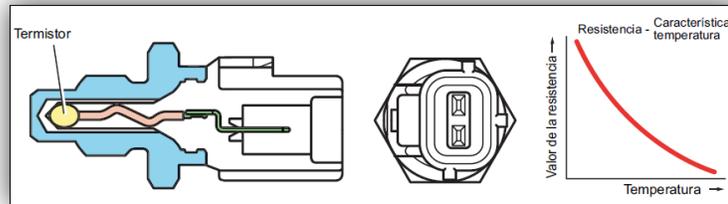


Figura 1.24 Sensor de temperatura de combustible Bomba HP3 **Fuente:** [10]

A medida que va aumentando la temperatura del combustible, la resistencia del sensor de temperatura aumenta, como se indica en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Características del valor de resistencia del sensor de temperatura de combustible **Fuente:** [10]

Temperatura (°C)	Valor de la resistencia (kΩ)
-30	(25,4)
-20	15,0±1,5
-10	(9,16)
0	(5,74)
10	(3,70)
20	2,45±0,24
30	(1,66)
40	(1,15)
50	(0,811)
60	(0,584)
70	(0,428)
80	0,318±0,031
90	(0,240)
100	(0,1836)
110	(0,1417)
120	(0,1108)

1.6. Sistema Common Rail Delphi

En el caso de Delphi se pueden encontrar dos tipos de sistemas, uno en el cual el PCM controla directamente los inyectores y bomba; otro en el cual existe un módulo el cual se comunica con el PCM y controla este a los inyectores llamado IDM (Inyector Drive Module) este módulo actúa como un amplificador del PCM dados los requerimientos de potencia que se requieren para operar este tipo de inyectores.

En la figura inferior se aprecia el primer arreglo de Delphi el cual involucra un módulo IDM.

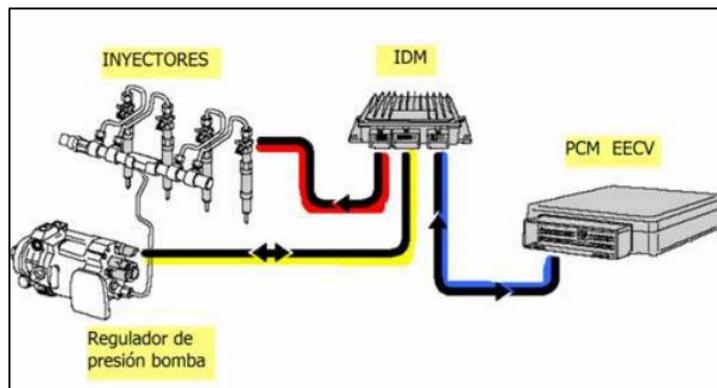


Figura 1.25 Sistema Common Rail Delphi con IDM. Fuente: [3]

En este esquema se puede apreciar el PCM, este recibe todas las informaciones necesarias para operar el motor como son sensores, monitoreo, requerimientos de arranque estado seguro, inmovilizador, entre otros. Una vez que se desea operar, el motor se comunica con el IDM como se observa en la línea con trazado azul en este momento el IDM actúa inicialmente sobre la electro válvula de generación de presión de la bomba la cual lograra que se eleve la presión al interior de sus cámaras, si por cualquier motivo el PCM no quisiera encender el motor simplemente no activa el solenoide y la bomba por más que gire, no sería capaz de elevar la presión.

La línea de activación se observa sombreada con la línea amarilla, esta activación se realiza por modulación de ancho de pulso.

Al unísono de activar la bomba, el IDM gestiona la activación de los inyectores de acuerdo a su respectivo orden de encendido logrando de esta forma encender el motor y accionarlo de acuerdo a las diferentes condiciones requeridas para cada una de las condiciones solicitadas o exigidas para el motor. Debe existir una respectiva señal de un sensor para de este forma el PCM la compare con un valor previamente almacenado y así logre un perfecto funcionamiento.

El otro arreglo para el caso de Delphi es tener un solo modulo como control del sistema, es así como el PCM se encargara directamente de operar los inyectores y obtener las señales requeridas por parte de los sensores en el esquema inferior se puede analizar este sistema. [3]

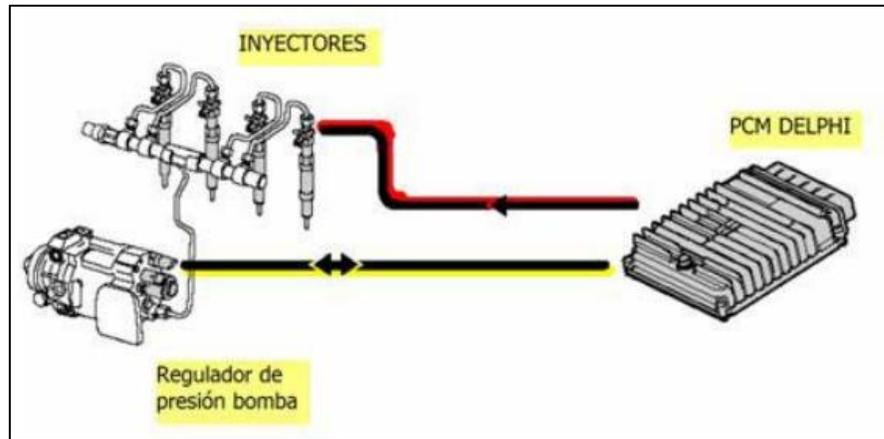


Figura 1.26 Sistema Common Rail Delphi sin MDI. Fuente: [3]

En el esquema se puede observar que la gestión del PCM se basara en recibir las señales importantes por parte de los sensores y en el momento de tener el requerimiento de encendido actuará con la respectiva modulación PWM sobre la válvula reguladora de presión que se encuentra en la bomba , de no actuar sobre esta simplemente no se lograría la presión en las cámaras al interior de la bomba y esta no podría llegar al riel común , luego se puede apreciar que el PCM controla los inyectores de acuerdo al respectivo orden de encendido del motor.

1.6.1. Bomba de suministro Delphi



Figura 1.27 Bomba Common Rail Delphi. Fuente: [12]

La generación de presión se logra mediante el esquema mostrado en la gráfica inferior.

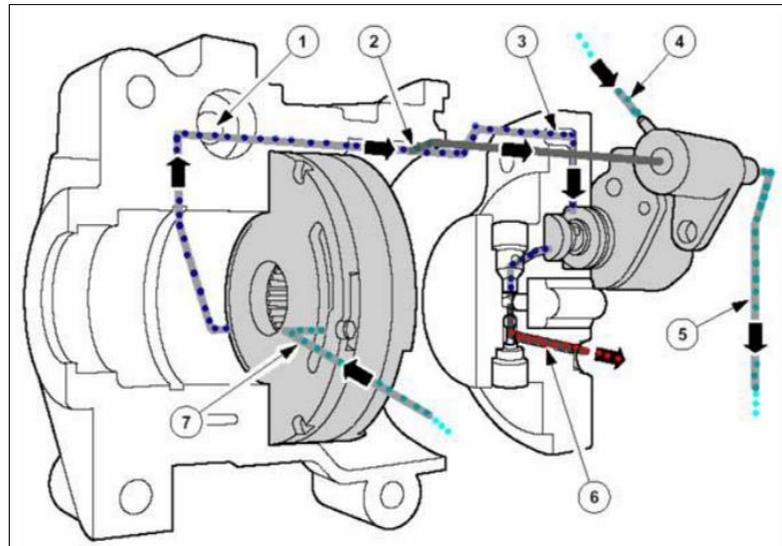


Figura 1.28 Sistema Common Rail Delphi sin MDI. **Fuente:** [3]

Como se nota en la figura 1.28, la presión proveniente del depósito y que previamente pasó por sus respectivos filtros de combustible, llega a la bomba de transferencia 7 por la línea punteada con verde, esta bomba de transferencia se encuentra al interior del conjunto bomba, luego de esto es enviada a través de una válvula controladora de presión 1 que regula por baja la presión final generada en alta, en ese momento envía el remanente de combustible a la misma bomba de transferencia, luego este combustible pasa por el orificio 2 en donde existe un orificio de retorno, el combustible que va a la cámara de alta presión va por la línea 3 y pasa por el dosificador de combustible llegando a la cámara de alta presión con salida de alta por el ducto 3; en 5 se tiene el retorno de combustible que va de nuevo a tanque, acá también llega el remanente de combustible que queda en la operación de los inyectores. El pasaje 2 funciona de forma estratégica puesto que sirve en parte para lubricar y refrigerar los mismos componentes de la bomba, y en altas RPM se genera un efecto Venturi en la descarga lo que posibilita un mejor drenaje.

1.6.1.1. Generación de presión

La cámara de alta presión funciona con una serie de levas que al rotar generan un efecto cuña el cual logra elevar la presión hacia la rampa de los inyectores.

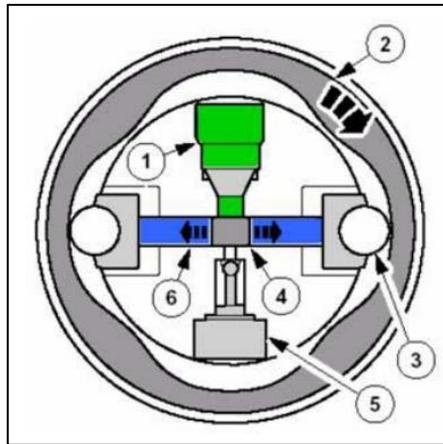


Figura 1.29 Cámara de presión de la bomba Delphi- etapa de llenado. **Fuente:** [3]

En la figura 1.29 inicialmente a la cámara de presión ingresa el combustible a la presión de transferencia por la válvula 1 llenando todas las cámaras que inician por los ductos mostrados con azul 6 esa presión permite que los balines 3 se coloquen a presión contra las paredes del contorno que tienen configuración de levas, en este momento la presión que existe en la cámara es la presión de transferencia ,en el movimiento del conjunto el balín toma la parte de alzada y es impulsado hacia atrás elevando la presión del fluido que se encuentra en el ducto azul como lo muestra la imagen inferior.

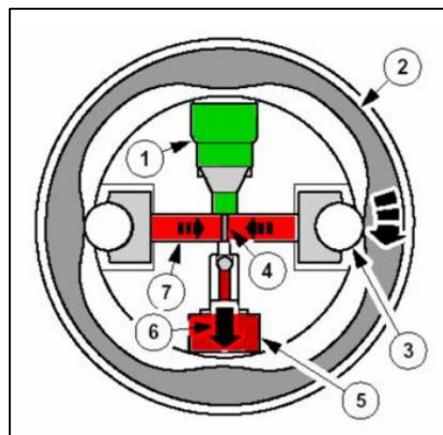


Figura 1.30 Cámara de presión de la bomba Delphi-etapa presurización. **Fuente:** [3]

Ahora la misma presión generada y mostrada con rojo 7 se forzó en la cámara de presión 4 y dispone su salida con lo que anteriormente era el combustible a baja presión 6 logrando así un constante caudal con elevada presión, es importante analizar que la presión final depende de la presión de entrada la cual fue controlada inicialmente el mismo efecto de descarga permite que la válvula de ingreso de baja 1 retraiga un resorte y ayude al ingreso de más combustible al interior.

1.7. Sistema Common Rail Siemens

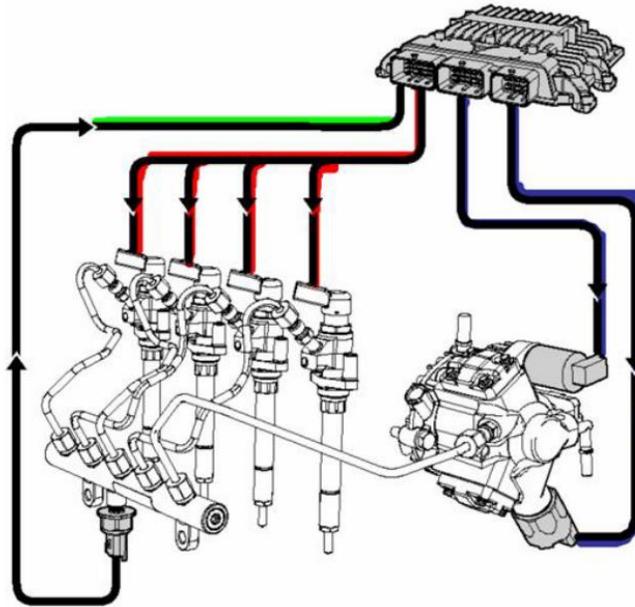


Figura 1.31 Sistema CRDI Siemens. Fuente: [3]

En este sistema se puede apreciar que el PCM controla los inyectores directamente, también ejerce un control por modulación de ancho de pulso sobre una válvula reguladora de presión y una válvula dosificadora de flujo, estos controles los podemos ver en color azul para las válvulas y rojo para los inyectores, en este sistema las dos válvulas trabajan en función de la señal emitida por el sensor de presión del riel de inyección el cual está en el gráfico con línea verde la gestión se realiza en un control de lazo cerrado.

1.7.1. Bomba de suministro Siemens



Figura 1.32 Bomba CRDI Siemens. Fuente: [13]

La bomba de alta presión constituye el punto de intersección entre los sistemas de baja y alta presión. Su función es suministrar siempre el combustible lo suficientemente comprimido en todos los estados de funcionamiento y durante toda la vida útil del vehículo.

Primeramente, la bomba de transferencia aspira el combustible del depósito y lo envía a la bomba de alta presión. La bomba de alta presión genera permanentemente la alta presión del sistema para la rampa de combustible. Por esa razón, el combustible comprimido ya no debe someterse a alta presión de forma puntual para cada fase de inyección, tal y como sucede en los sistemas con bomba rotativa de inyección.

Las cámaras de alta presión constituyen tres elementos de alta presión (conjuntos de émbolo y cilindro) desalineados 120 grados entre sí. La válvula dosificadora de combustible y la válvula reguladora de presión del combustible van atornilladas y embridadas a la carcasa de la bomba de alta presión. De este modo se regula de forma óptima la alta presión del sistema. Gracias a la alta presión permanente se optimiza la calidad de la inyección para todos los regímenes.

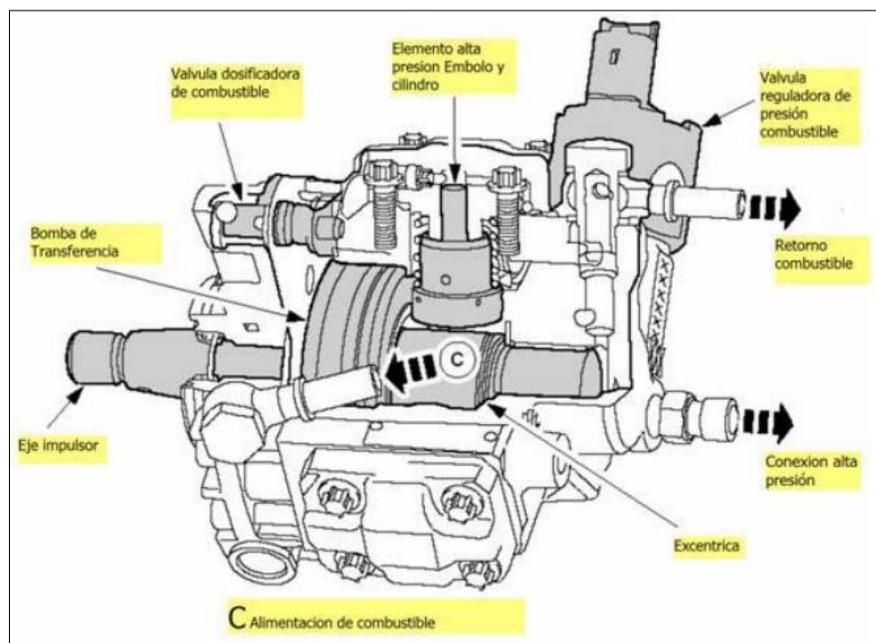


Figura 1.33 Partes de bomba CRDI Siemens. Fuente: [3]

La bomba de transferencia integrada en la bomba de alta presión aspira el combustible del depósito de combustible a través del filtro de combustible.

La bomba de transferencia envía el combustible a la válvula dosificadora y a la válvula de lubricación. Si la válvula dosificadora de combustible está cerrada, se abre la válvula

reguladora de presión primaria y envía de nuevo el combustible de alimentación sobrante al lado de admisión de la bomba de transferencia.

La válvula de lubricación está calibrada de modo que siempre están garantizadas una lubricación y una refrigeración suficientes de la cámara interior de la bomba.

Por medio de la válvula dosificadora de combustible electromagnética (controlada por el PCM) se determina la cantidad de combustible que llega a las cámaras de alta presión (elementos de la bomba).

En el conducto de alta presión, entre las cámaras de alta presión y la salida de alta presión hacia la rampa de combustible, se encuentra la válvula reguladora de presión del combustible. Esta válvula electromagnética controlada por el PCM regula la presión del combustible, que finalmente entra a la rampa de combustible a través de la salida de alta presión.

La válvula reguladora de presión del combustible conduce el combustible de alimentación sobrante al retorno de combustible, y por tanto, al depósito de combustible.

1.7.1.1. Generación de presión

La generación de presión al interior de las cámaras se da en dos etapas las cuales se muestran a continuación.

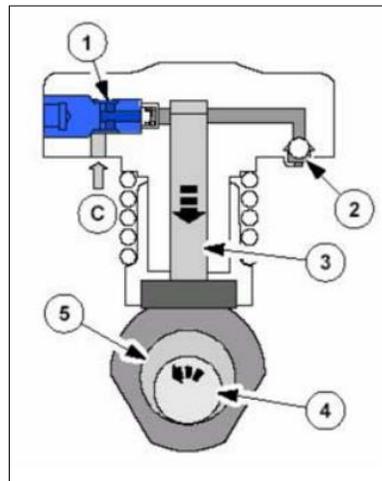


Figura 1.34 Ingreso de combustible al embolo de la bomba CRDI Siemens. Fuente: [3]

Como en la figura 1.34, inicialmente el combustible a la presión de transferencia C ingresa por la válvula de entrada 1 esto en la carrera descendente del embolo 3 este embolo es movido por la excéntrica 5 que a su vez es impulsada por el eje 4.

Una vez que el combustible ingresa a la respectiva cámara sigue una carrera ascendente del pistón esto hace que se comprima y luego salga por la válvula de salida 2 como lo muestra la figura siguiente:

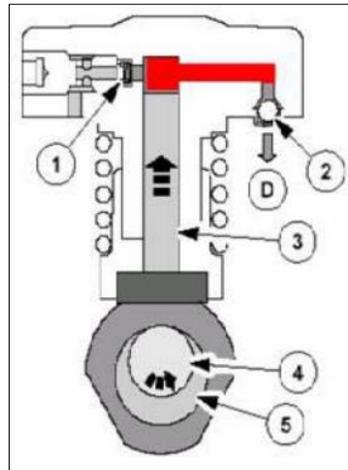


Figura 1.35 Presurización de combustible al embolo de la bomba CRDI Siemens. **Fuente:** [3]

Ya en este caso el combustible sale por el conducto D hacia las líneas que conducen luego al respectivo riel de inyección.

1.8. SENSOR DE CAUDAL AICHI OF05ZAT



Figura 1.36 Sensor de caudal Aichi. Fuente: Autores.

Este sensor es utilizado en este proyecto gracias a que presenta las siguientes características:

- El sensor fue desarrollado para satisfacer las demandas de ingeniería de fluidos, para un control preciso de una tasa de flujo y fácil de usar, por lo tanto se puede aplicar a una amplia gama de campos.
- Cuenta con un diseño compacto y pesa tan sólo 95 gramos (OF05). Además, la conexión se ha diseñado para facilitar la instalación en cualquier disposición del sistema.
- El cuerpo súper-duro de plásticos de ingeniería de alta resistencia a los productos químicos, petróleo, y el desgaste, por lo que este sensor es ideal para su uso con el queroseno, petróleo ligero, pesado, y el agua fría, así como para los productos químicos. [14]

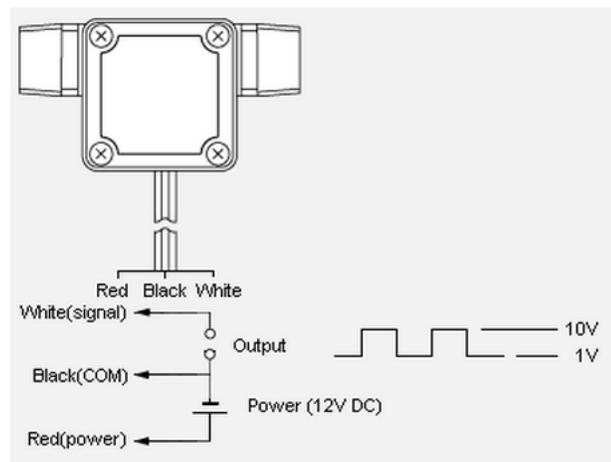


Figura 1.37 Sensor de presión de riel. Fuente: [14]

1.8.1. Información general

Tabla 1.6 Características del sensor de cudal Aichi. **Fuente:** [14]

Item		Model			
		OF05ZAT-AO	OF05ZT-AO	OF10ZAT-AO	OF10ZT-AO
Measurable fluid	Various fluids	Please select with reference to the following major materials of the fluid-touching materials.			
	Major fluids	water, kerosene, light oil, heavy oil	water, acid, alkali, organic solvents, etc.	water, kerosene, light oil, heavy oil	water, acid, alkali, organic solvents, etc.
Accuracy (standard installation position)		±2% RS			
Maximum working pressure		0.5MPa (35~85%RH)			
Fluid & Ambient temperature		-10 to 70°C (Freezing / dew condensation must be avoided)			
Flow-rate range (±1% RS)		0.3 - 0.8mPa·s(cP) --- 5 - 50L/h 0.8 - 2mPa·s(cP) --- 3 - 50L/h 2 - 5mPa·s(cP) --- 1 - 50L/h 5 - 200mPa·s(cP) --- 0.5 - 50L/h		0.3 - 0.8mPa·s(cP) --- 40 - 300L/h 0.8 - 2mPa·s(cP) --- 20 - 300L/h 2 - 5mPa·s(cP) --- 10 - 300L/h 5 - 200mPa·s(cP) --- 5 - 300L/h	
Pulse unit		0.46mL/p		2.5mL/p	
Power voltage		3 to 24 V DC			
Output signal		Pulse Voltage			
Connection		R1/4(External thread)		R1/2(External thread)	
Main materials		Rotor and casing: PPS Resin O-ring: NBR Shaft: SUS304	Rotor and casing: PPS Resin O-ring: FKM Shaft: SiC	Rotor and casing: PPS Resin O-ring: NBR Shaft: SUS304	Rotor and casing: PPS Resin O-ring: FKM Shaft: SiC

1.9. BANCO DE PRUEBAS HARTRIDGE PGM10-12

El banco de pruebas marca HARTRIDGE SERIE PGM 10-12, es electrónico, y permite probar bombas de inyección en línea o rotativas, con una cantidad de tres hasta doce elementos, las de uno y dos se calibran con la ayuda de un dispositivo adicional llamado caja de levas.

Este banco trabaja con un líquido de pruebas de similares características que el diesel y proporciona alimentaciones de alta y baja presión para las distintas pruebas de bombas.



Figura 1.38 Banco de pruebas Hartridge PGM 10-12. Fuente: [15]

La utilidad del banco de pruebas es ayudar a diagnosticar el estado o la calibración de una bomba de inyección en línea o rotativa de acuerdo a los datos técnicos que especifica el fabricante, simplemente se debe comparar los datos que nos da el fabricante con los que obtenemos en las distintas pruebas, estos valores se observa e ingresa por un teclado y una pantalla que dispone.

Tabla 1.7 Parametros que muestra la pantalla del banco de pruebas Hartridge. **Fuente:** [15]

PARAMETRO	RESOLUCION	GAMA	PRECISION	UNID. ALTERNATIVA.
Velocidad	1 rpm	30-4000 rpm	± 1 rpm	
Temp. de entrada	0,1 °c	25°C-45°C	± 2 °C	
Temp de sobrante	0,1 °C	10°C-50°C	± 0,5 °C	
presión Refuerzo	0,1 bar	0-3 bar	± 1 %	
Caudal Sobrante	1 cc/min	15 - 1200 cc/min	± 5 %	Mpa, lb/in2,mm.Hg
CC variable A	0,1 v	0 - 25 v	± 1 v	L/hr,cc/min.
cc variable B	0.1 v	0 - 25 v	± 1 v	
Avance	0,1 mm	0,20 mm	± 0,1 mm	
Puesta fase estática	0.1 °-	0-360 °-	± 0,1 °-	
Puesta fase dinámica	0,1 °-	0-360 °-	± 0,1 °-	

CAPÍTULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR Y SUS ACCESORIOS

2.1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un simulador, para diagnosticar el estado de bombas de sistemas CRDI, montando las mismas en bancos de pruebas para bombas convencionales.

En la figura 2.1 se representa el diagrama de bloques del diseño del simulador para bombas CRDI.

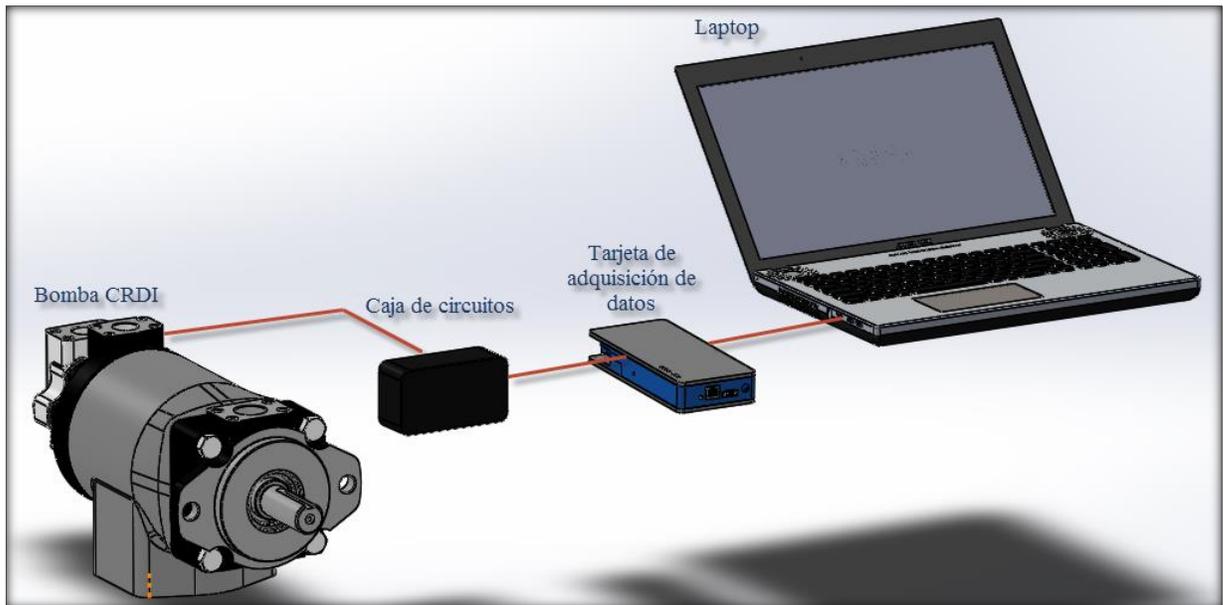


Figura 2.1 Diagrama de bloques del simulador para bombas CRDI. **Fuente:** Autores.

2.2. DISEÑO DE PLACA MATRIZ

Es necesario construir una placa para montar este tipo de bombas en el banco de pruebas, ya que en el kit de accesorios del mismo no posee una placa para estas bombas más recientes, en este caso se utilizara una bomba del fabricante Bosch, modelo CP3.

Un punto favorable es que se puede utilizar la torre que viene para montar bombas rotativas.

2.2.1. Parámetros para el diseño

Se debe considerar dos aspectos como los más importantes para ser tomados en cuenta al momento de diseñar la placa, los cuales son:

- El eje de la bomba debe estar centrado con el eje del banco, caso contrario al momento de hacer girar la bomba durante las pruebas se producirían vibraciones, que podrían dañar las piezas internas de la bomba.
- Las dimensiones de la placa deben estar acordes a las de la torre de montaje y configuradas de tal manera de evitar lo expuesto en el punto anterior.

2.2.1.1. Dimensiones

Para determinar estas se procede a tomar tanto las medidas de la torre y como de la bomba de tal manera que ambas se queden centradas entre sí y con el banco de pruebas.

Como se ve en las siguientes imágenes se procedió a tomar las medidas de ambas partes.



Figura 2.2 Toma de medidas de la torre del banco. **Fuente:** Autores.



Figura 2.3 Toma de medidas de la bomba. **Fuente:** Autores.

Una vez obtenidas las medidas correspondientes, se procede diseñar la placa en un software CAD, tomando en cuenta todas las especificaciones previas expuestas en los parametros de diseño, obteniendo:

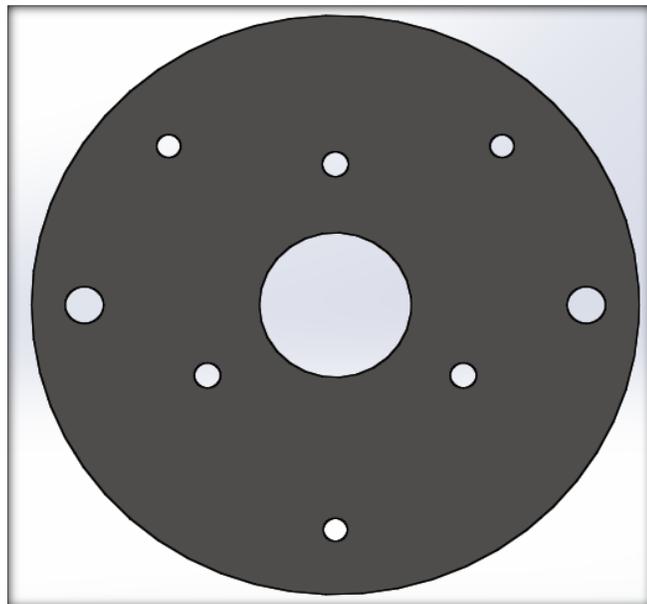


Figura 2.4 Diseño en CAD de la placa matriz. **Fuente:** Autores.

2.2.1.2. Material

Para la elección apropiada del material se tomaran en cuenta dos aspectos importantes, los resultados que se obtengan en el análisis por elementos finitos; así como el costo del mismo.

A continuación se exponen las tablas con las características de los materiales seleccionados que son aluminio y acero estructural.

Tabla 2.1 Propiedades físicas del acero estructural. **Fuente:** Autores.

Propiedad	Valor
Densidad	7850 kg/m ³
Módulo de Young	2E ¹¹ Pa
Esfuerzo a la tensión admisible	2,5E ⁸ Pa
Esfuerzo a la tensión ultimo	4,6E ⁸ Pa
Esfuerzo a la compresión admisible	2,5E ⁸ Pa

Tabla 2.2 Propiedades físicas del aluminio. **Fuente:** Autores.

Propiedad	Valor
Densidad	2770 kg/m ³
Módulo de Young	7,1E ¹⁰ Pa
Esfuerzo a la tensión admisible	2,8E ⁸ Pa
Esfuerzo a la tensión ultimo	3,1E ⁸ Pa
Esfuerzo a la compresión admisible	2,8E ⁸ Pa

2.2.2. Análisis por elementos finitos de la placa

Para realizar el análisis se utilizara un software de diseño para lo cual es necesario fijar ciertos parámetros como:

- El material de los sólidos los cuales ya se expusieron anteriormente en las tablas 2.1 y 1.2.
- Los puntos de sujeción.
- La fuerza o carga que soportara (magnitud y dirección).
- La calidad del enmallado.
- Los resultados que se desea obtener.

2.2.2.1. Soportes

Los puntos de sujeción serán en los que se sujeta la placa a la torre del banco de pruebas, una vez configurado esto en el software se tiene:

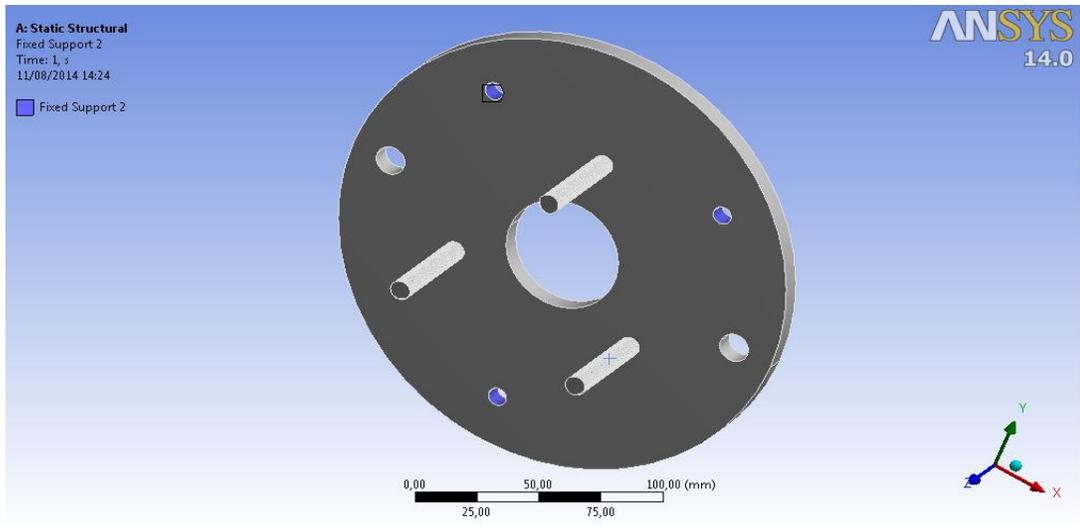


Figura 2.5 Configuración de los puntos de sujeción. **Fuente:** Autores.

2.2.2.2. Cargas

A continuación se configura la carga que en este caso es el peso de la bomba, el cual estará directamente soportado en los espárragos que unen la bomba con la placa, será necesario suponer la peor condición en la que se ocupe la placa, es decir con la bomba más pesada y el peso de la misma aplicada a cada espárrago.

Valor de la carga: 98 N.

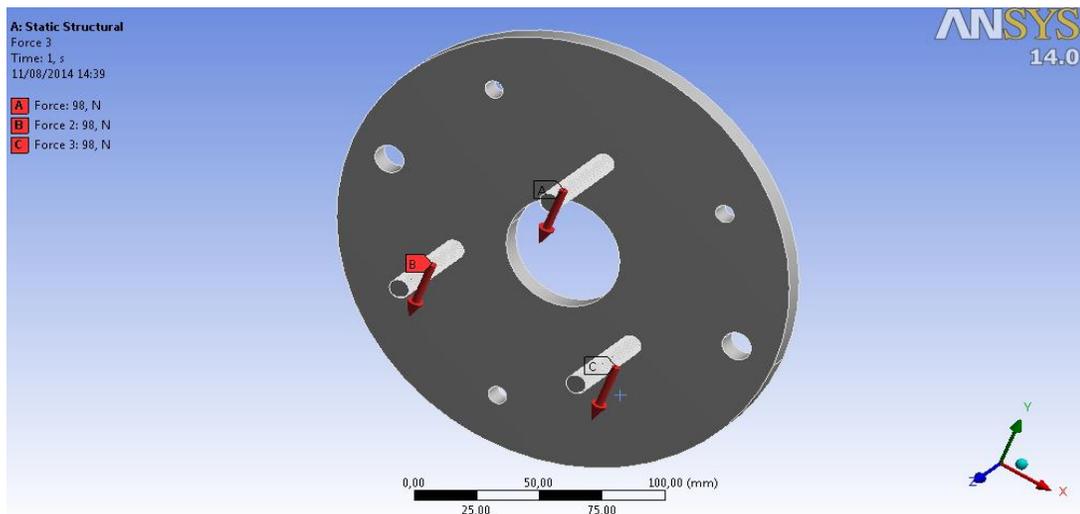


Figura 2.6 Configuración de las cargas. **Fuente:** Autores.

2.2.2.3. Calidad de enmallado

Ahora que se tiene configurada las condiciones bajo las que trabajara la placa se genera el enmallado, para obtener unos resultados fiables es necesario que la calidad del mismo sea mayor al 0,60; luego de varias configuraciones se obtuvo el siguiente enmallado.

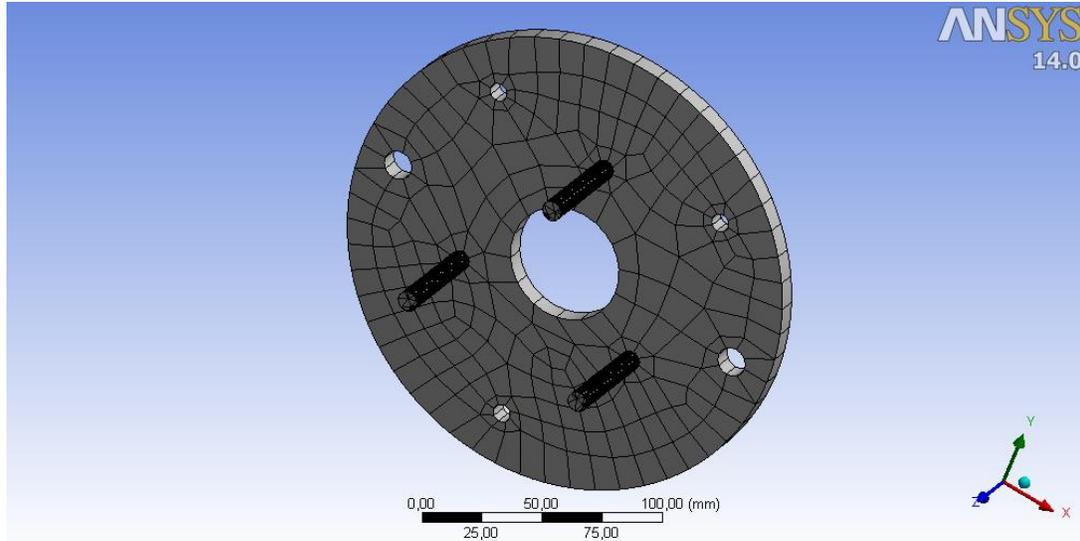


Figura 2.7 Calidad del enmallado. Fuente: Autores.

Se obtuvo una calidad promedio del 0,6685; lo cual nos garantiza unos resultados fiables.

2.2.2.4. Resultados

2.2.2.4.1. Esfuerzo equivalente de Von Mises

Necesario en el diseño de cualquier pieza mecánica, con las configuraciones expuestas anteriormente se obtiene:

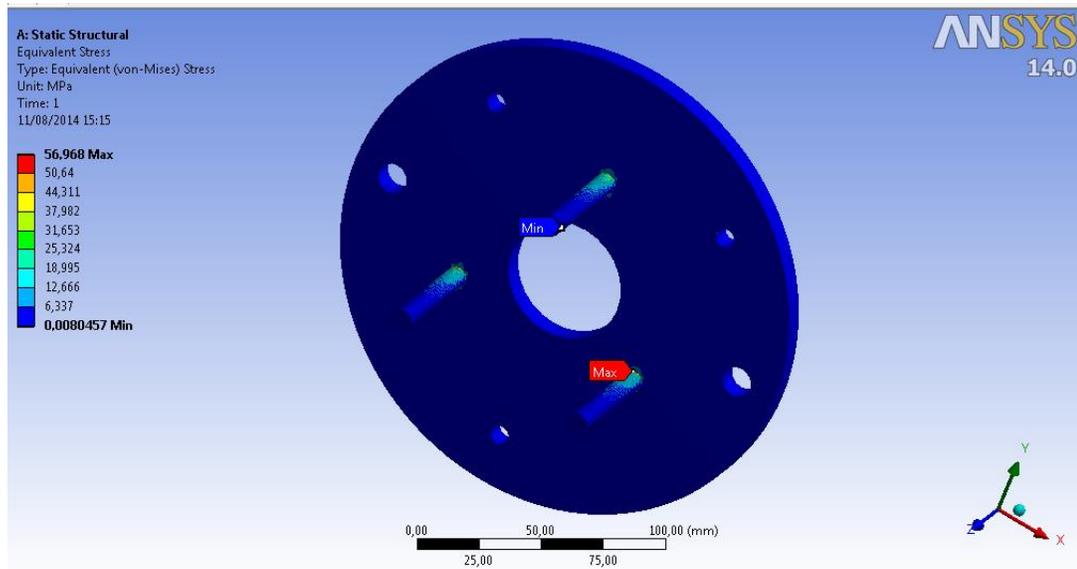


Figura 2.8 Esfuerzo de Von Mises con acero estructural. **Fuente:** Autores.

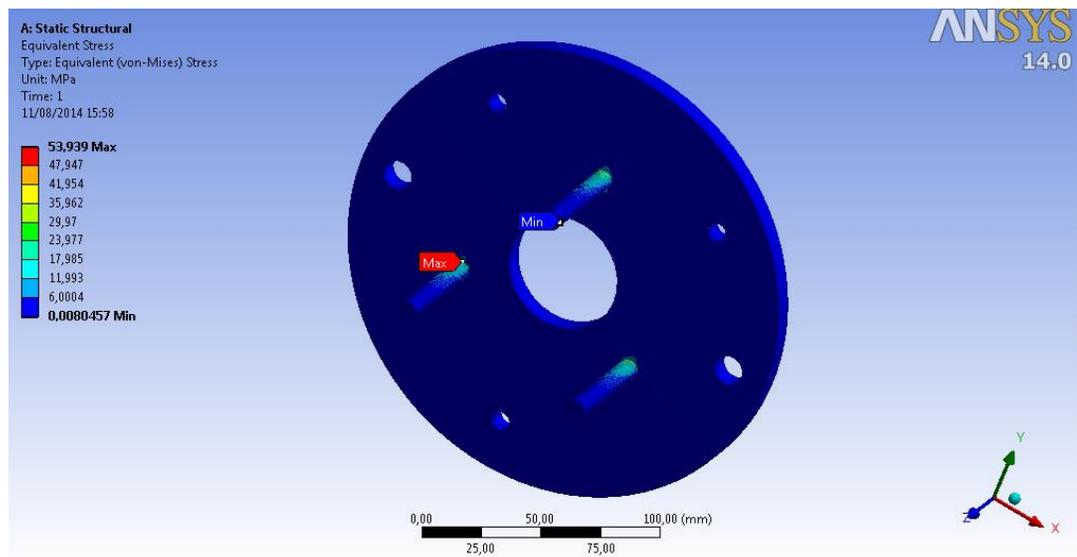


Figura 2.9 Esfuerzo de Von Mises con aluminio. **Fuente:** Autores.

El valor máximo del esfuerzo que se presenta es 56,968 MPa el cual es descartable en comparación con el máximo soportado por el material que es de 280 MPa; mientras que con aluminio se presenta un esfuerzo de 53,939 MPa que de igual manera es descartable con respecto a los 250 MPa soportados por el material; por lo que en lo que respecta a este parámetro ambos materiales son aptos para la construcción.

2.2.2.4.2. Deformación total

El más importante a la hora de diseñar una parte automotriz, ya que de este depende el acoplamiento con el resto de componentes.

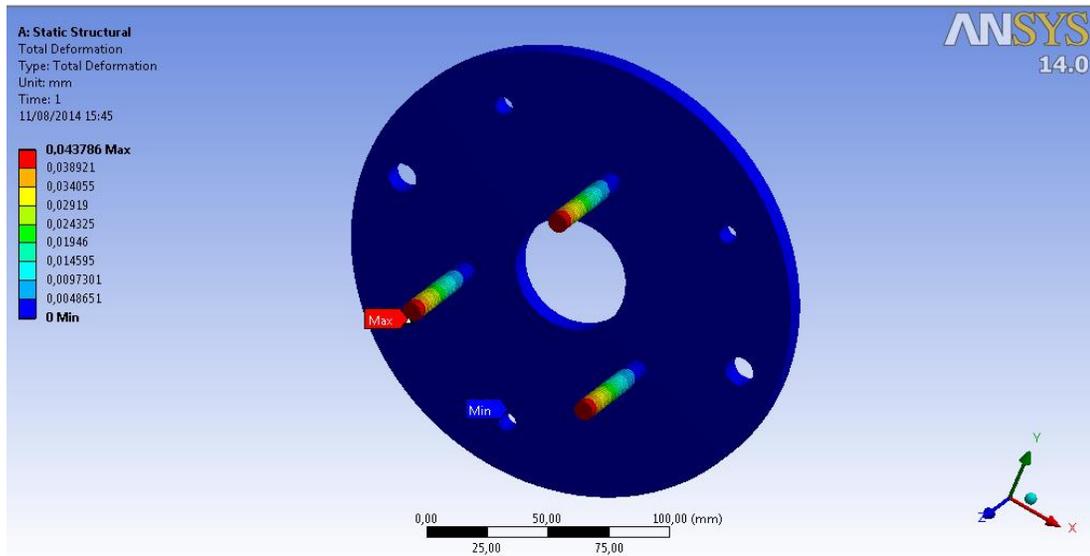


Figura 2.10 Deformación total con acero estructural. Fuente: Autores.

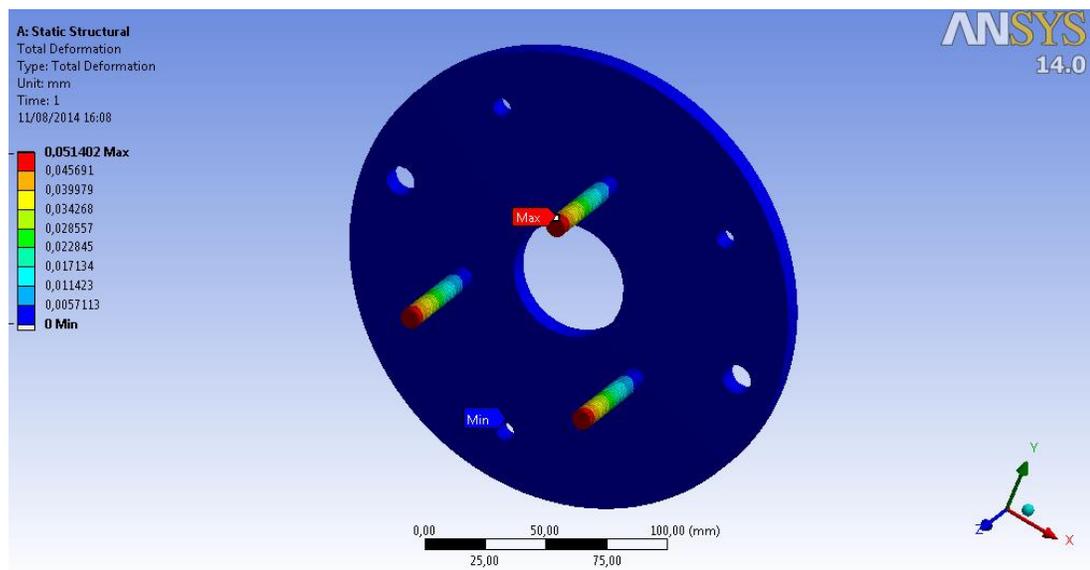


Figura 2.11 Deformación total con aluminio. Fuente: Autores.

La deformación presente en los espárragos en ambos casos es despreciable ya que la misma es inferior a 1 mm y se presenta en un área donde el peso de la bomba ya no está ejercería efecto.

2.2.2.4.3. Factor de seguridad

Este parámetro es indispensable ya que este determinara la vida útil de la placa.

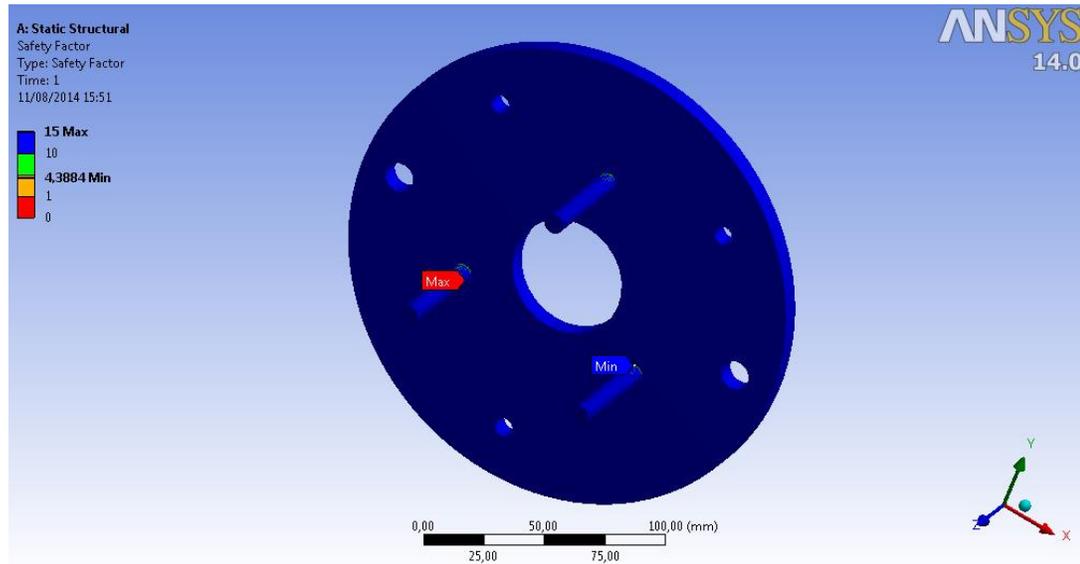


Figura 2.12 Factor de seguridad con acero estructural. Fuente: Autores.

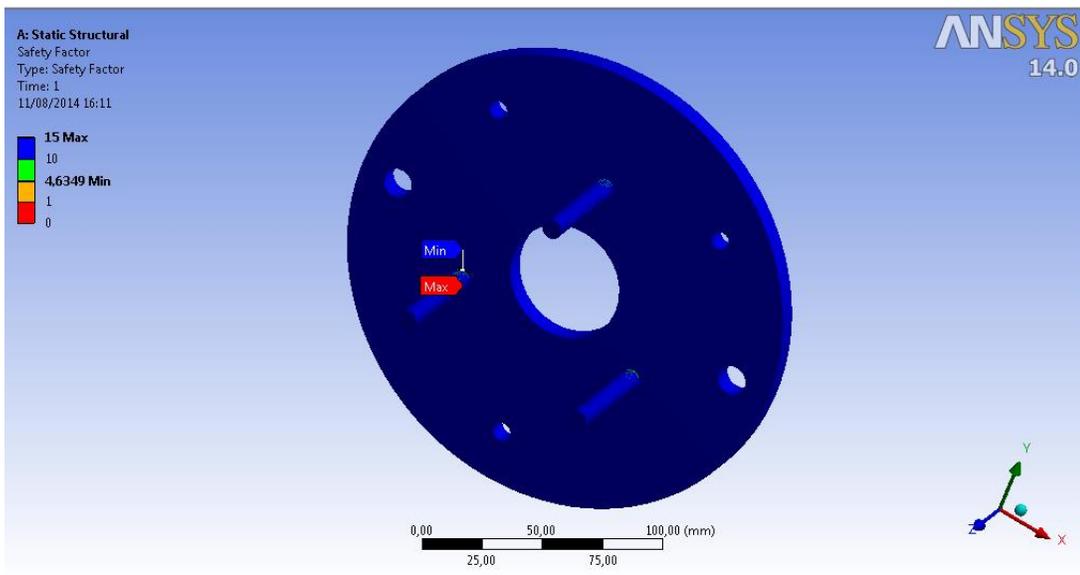


Figura 2.13 Factor de seguridad con aluminio. Fuente: Autores.

Como se aprecia en la figura 2.13 se tiene un factor de seguridad mínimo en las zonas más críticas de la placa con el acero estructural de 4.3884, mientras que con el aluminio se obtiene 4,6349.

Lo cual nos muestra que ambos materiales son idóneos para la construcción de la placa, dejando al costo del material como el factor determinante para escoger que material se utilizara, hay que tomar en cuenta que el material debe estar sobredimensionado para lograr mecanizar el mismo.

A continuación se expone una tabla con las dimensiones del material a adquirir y el precio de las mismas.

Tabla 2.3 Costo de materiales. **Fuente:** Autores.

Material	Costo
Plancha de acero estructural de 25 cm x 25 cm y ¼ de pulgada de espesor.	\$ 25
Taco de aluminio de 25 cm de diámetro y 1,25cm de espesor.	\$ 45

El espesor del taco de aluminio es el mínimo que venden los distribuidores, por lo que se determina que el acero estructural es el mejor material para la construcción de la placa.

2.3. CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA MATRIZ

La construcción de la placa, se la realizo en un taller industrial donde se entregó los planos de la misma, así como el material antes mencionado.

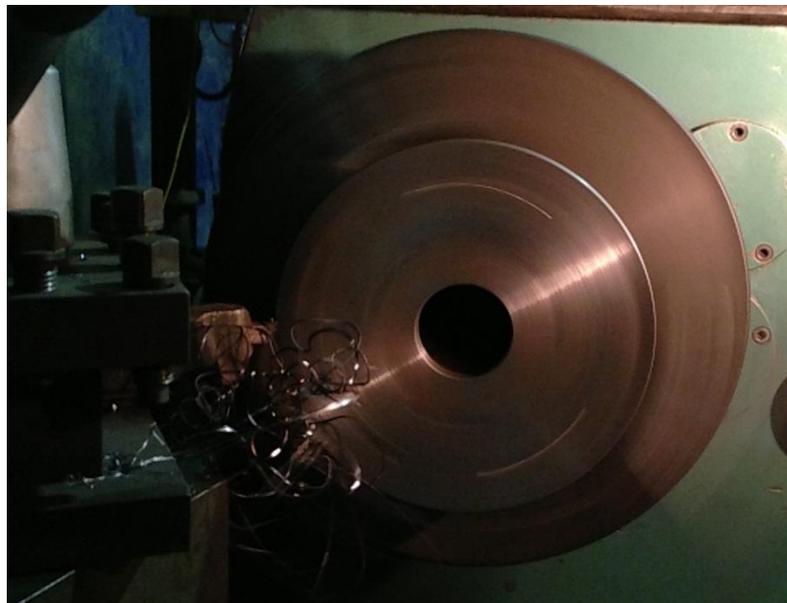


Figura 2.14 Mecanizado de la placa. **Fuente:** Autores.

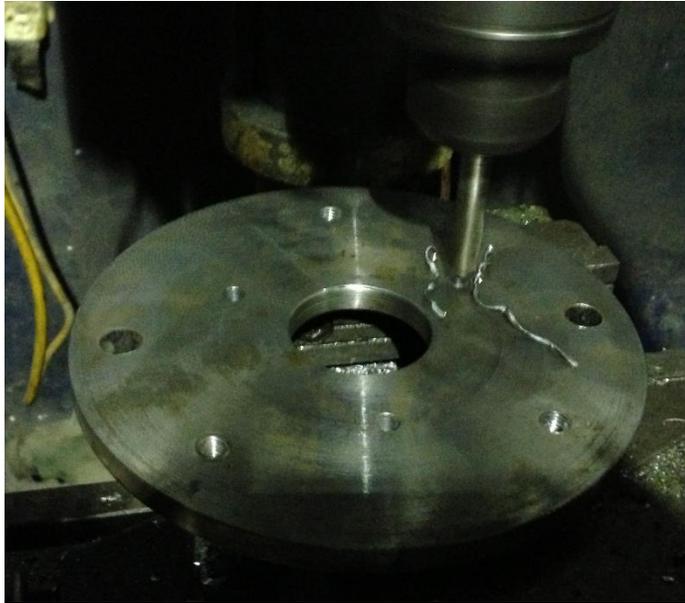


Figura 2.15 Mecanizado de la placa 2. **Fuente:** Autores.

Una vez construida se procede a verificar la concentricidad de tanto la bomba con la placa, y esta última con la torre del banco.

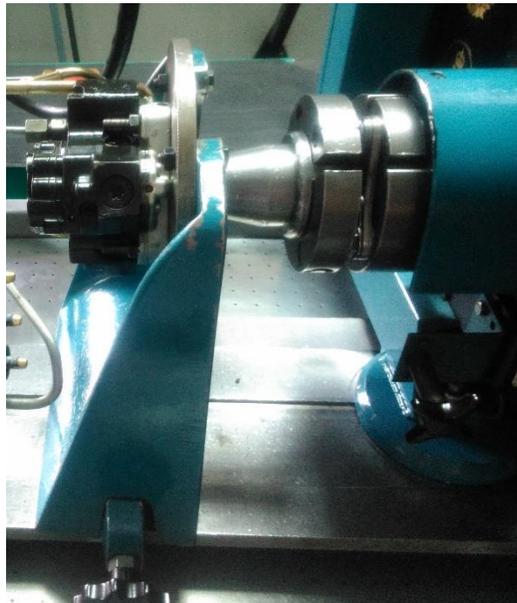


Figura 2.16 Prueba de concentricidad. **Fuente:** Autores.

2.4.DISEÑO DE RIEL

2.4.1.Parámetros para el diseño

Se deben considerar dos aspectos importantes para ser tomado en cuenta al momento de diseñar el riel, los cuales son:

- El material del riel debe ser lo suficientemente resistente para soportar las elevadas presiones en las que trabaja este sistema de inyección.
- Sus dimensiones deben garantizar la acumulación de presión de combustible minimizando las fluctuaciones de presión provocadas por la bomba de presión.

2.4.1.1. Dimensiones

En comparación al diseño de la placa, lo primero que se buscó fue un material sólido en el cual se puede mecanizar un riel, lo ideal era encontrar un material con forma cilíndrica parecido a los rieles que vienen incorporados en estos sistemas; pero debido a la dificultad de mecanizar todos los conductos de ingreso y salida en un mismo cuerpo se optó por un material de forma cuadrangular.

Con el material obtenido se procedió a diseñar en software CAD el riel con las entradas y salidas necesarias, para luego analizar el diseño en un software adecuado.

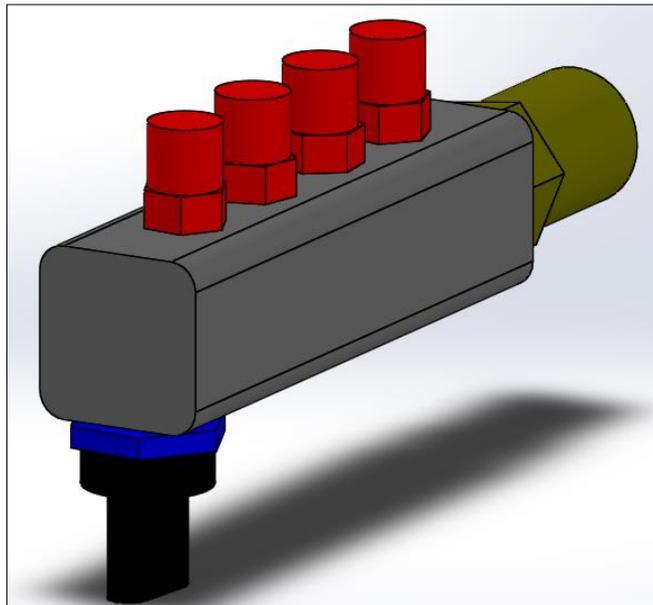


Figura 2.17 Diseño CAD del riel y sus accesorios. Fuente: Autores.

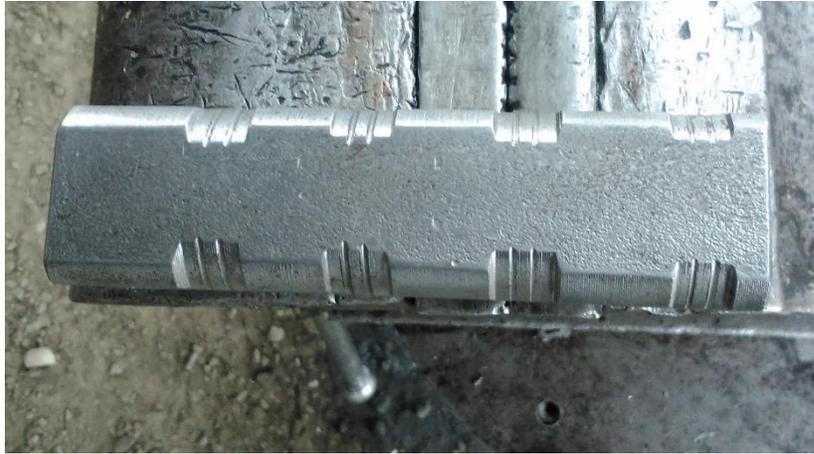


Figura 2.18 Material para la fabricación del riel. **Fuente:** Autores.

2.4.1.2. Material

El material a utilizarse será acero estructural, el cual se mostró sus propiedades físicas con anterioridad en la tabla 2.1 y 2.2.

2.4.2. Análisis por elementos finitos de la placa

A diferencia de la placa ahora el análisis se lo realizara aplicando una presión y no con una fuerza, pero de igual forma es necesario configurar ciertos parámetros como los puntos de sujeción, el valor de la presión, la calidad del enmallado y los resultados que se desea obtener.

2.4.2.1. Soportes

La presión que ejercerá la bomba estará actuando sobre las paredes internas del riel, pero será necesario seleccionar un punto de sujeción ya que de no hacerlo el software desplazara al riel por la acción de la presión.

El punto de sujeción será ubicado en la cara posterior del riel como se aprecia a continuación.

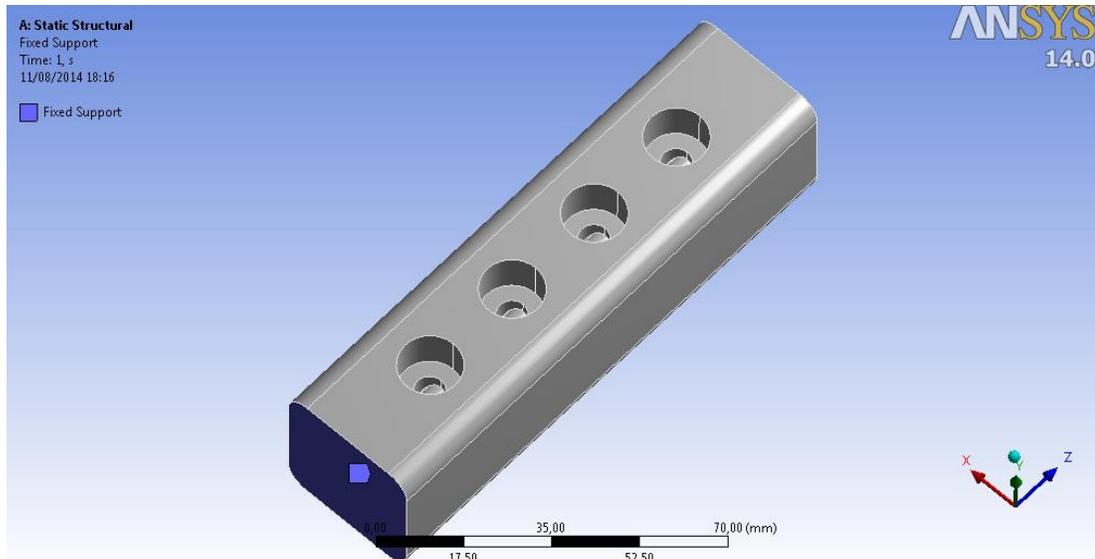


Figura 2.19 Configuración del punto de sujeción del riel. **Fuente:** Autores.

2.4.2.2. Cargas

A continuación se configura la presión, la cual actuara sobre el conducto interno del riel, desde aquí es donde se reparte a las diferentes salidas, así como al sensor de presión y la válvula de sobrepresión.

Valor de la carga: 140 MPa.

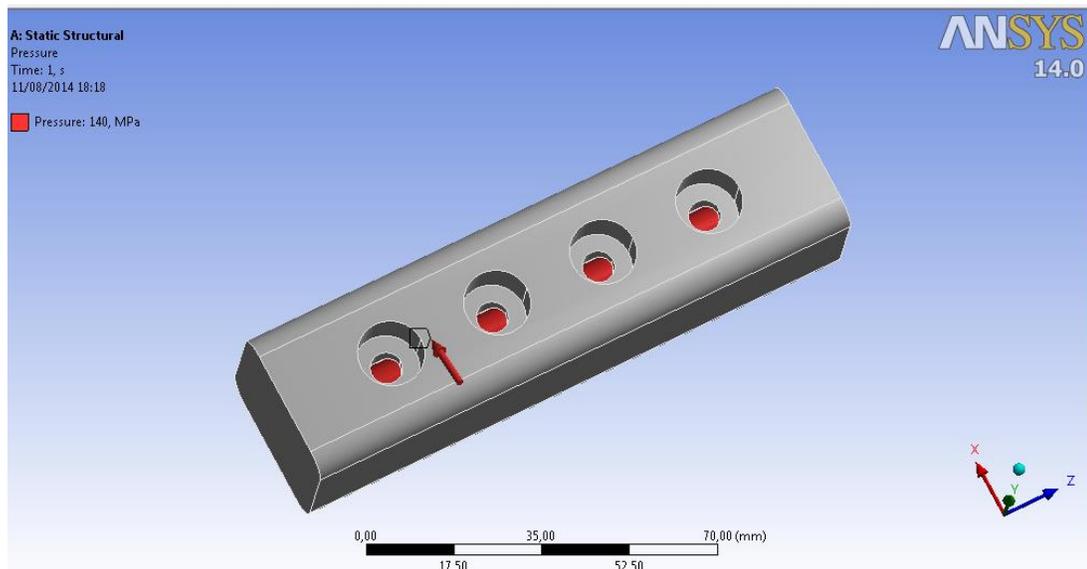


Figura 2.20 Configuración de la presión. **Fuente:** Autores.

2.4.2.3. Calidad de enmallado

Ahora que se tiene configurada las condiciones bajo las que trabajara el riel se genera el enmallado, para obtener unos resultados fiables es necesario que la calidad del mismo sea mayor al 0,60, luego de varias configuraciones se obtuvo el siguiente enmallado:

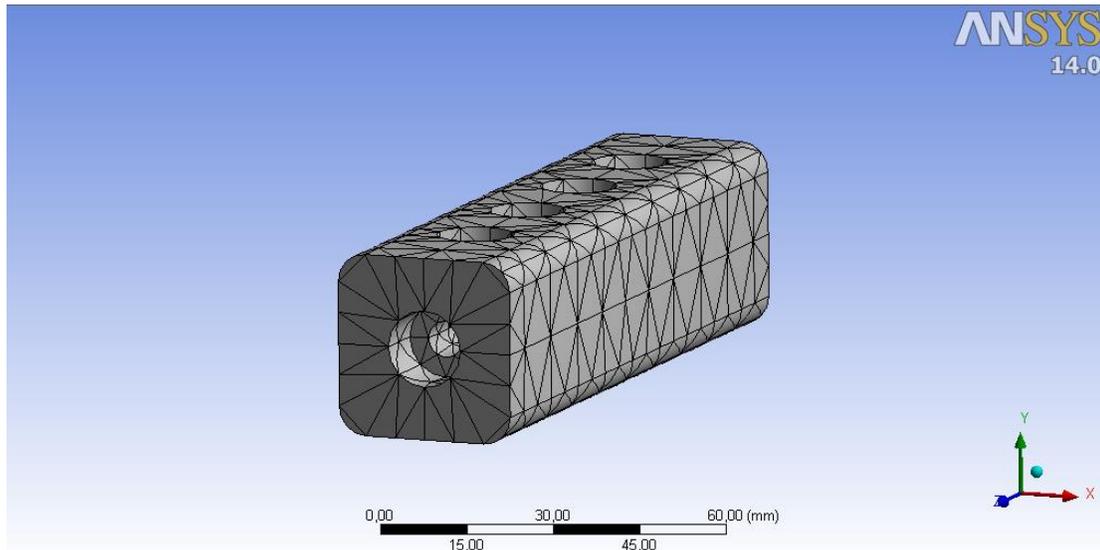


Figura 2.21 Calidad del enmallado. Fuente: Autores.

Se obtuvo una calidad promedio del 0,6685; lo cual nos garantiza unos resultados fiables.

2.4.2.4. Resultados

Los mismos se presentan a continuación.

2.4.2.4.1. Esfuerzo equivalente de Von Mises

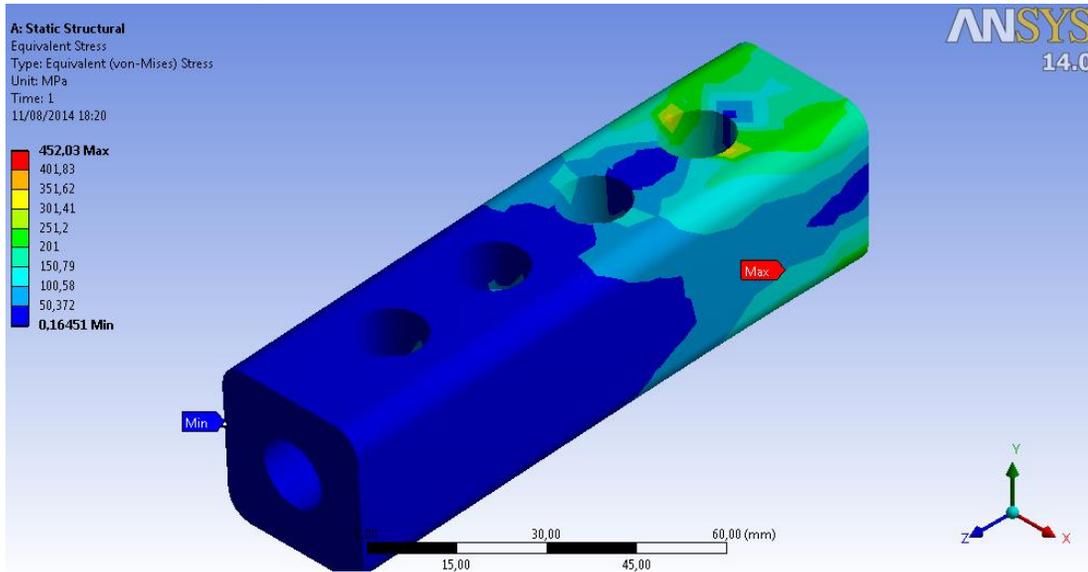


Figura 2.22 Esfuerzo de Von Mises en el riel. Fuente: Autores.

El valor máximo del esfuerzo que se presenta es 452,03 MPa el cual es descartable en comparación con el máximo soportado que es de 280 MPa; por lo que en lo que respecta a este parámetro el material es apto para la construcción.

2.4.2.4.2. Deformación total

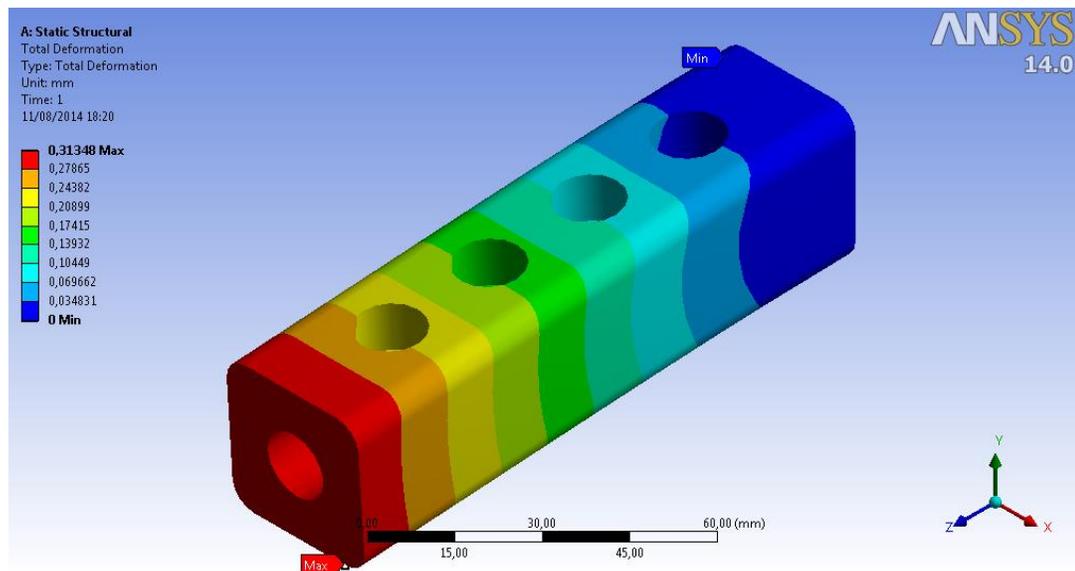


Figura 2.23 Deformación total en el riel. Fuente: Autores.

La deformación presente en el riel es descartable ya que su valor máximo es inferior a 1 mm.

2.4.2.4.3. Factor de seguridad

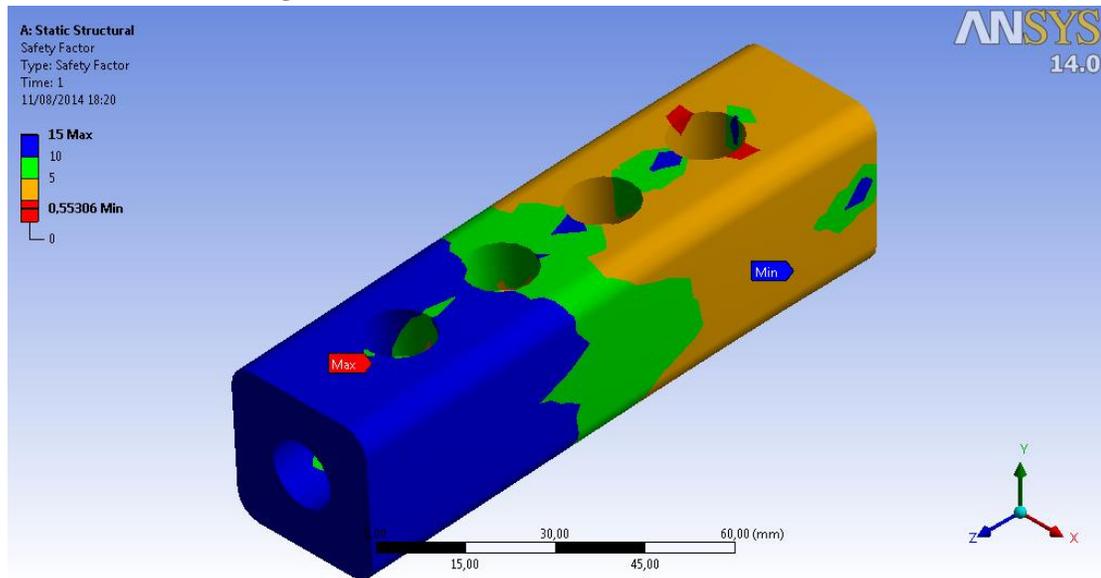


Figura 2.24 Factor de seguridad en el riel. Fuente: Autores.

Como se aprecia en la figura anterior se tiene un factor de seguridad mínimo en las zonas más críticas de la placa con el acero estructural de 4.3884, mientras que con el aluminio se obtiene 4,6349.

2.5. CONSTRUCCIÓN DEL RIEL

Igual que la placa el riel se construyó en un taller industrial donde se entregó los planos del mismo, así como el material antes mencionado.

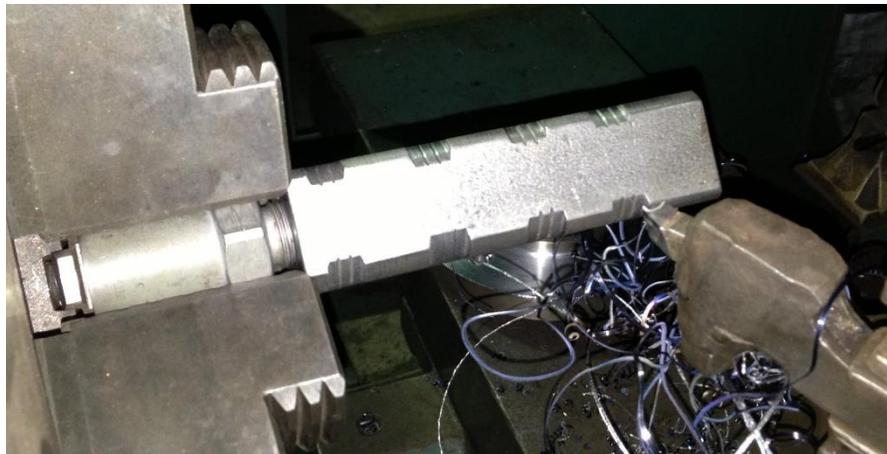


Figura 2.25 Mecanizado del riel. Fuente: Autores.



Figura 2.26 Mecanizado del riel 2. **Fuente:** Autores.

2.6. DISEÑO DEL SIMULADOR

2.6.1. Parámetros para el diseño

El simulador para cumplir con las funciones de la ECU debe cumplir con las siguientes características:

- Generar una señal digital, para controlar SCV.

Además de funciones adicionales propias de un dispositivo de diagnóstico, tales como:

- Recibir las señales generadas por el sensor de caudal y el sensor de presión, procesarlas y mostrar en una pantalla el valor de las mismas.
- Mostrar en la misma pantalla los datos de funcionamiento de las diferentes bombas presentes en los vehículos del mercado nacional, en especial las del fabricante Bosch.
- Alimentar los sensores tanto de presión como de caudal.

Para que el simulador cumpla con todas estas características, es necesario:

- La construcción de un circuito electrónico que reciba la señal de control de la válvula SCV para amplificarla y sirva de fuente de alimentación para los sensores de presión y caudal.
- Adquirir y programar una placa de adquisición de datos, para generar la señal de la válvula SCV, recibir las señales de los sensores y graficar las mismas.
- Realizar la programación en un software gráfico para la visualización de los datos de funcionamiento en una computadora.

2.7. DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

La señal generada por la tarjeta de adquisición de datos, deberá ser recibida por el circuito de potencia, el cual tiene que amplificar el voltaje de dicha señal desde 5 a 12 voltios. Conjuntamente el circuito tiene que proporcionar la alimentación de voltaje para los sensores de presión y caudal.

A continuación se muestra un diseño del circuito a utilizarse:

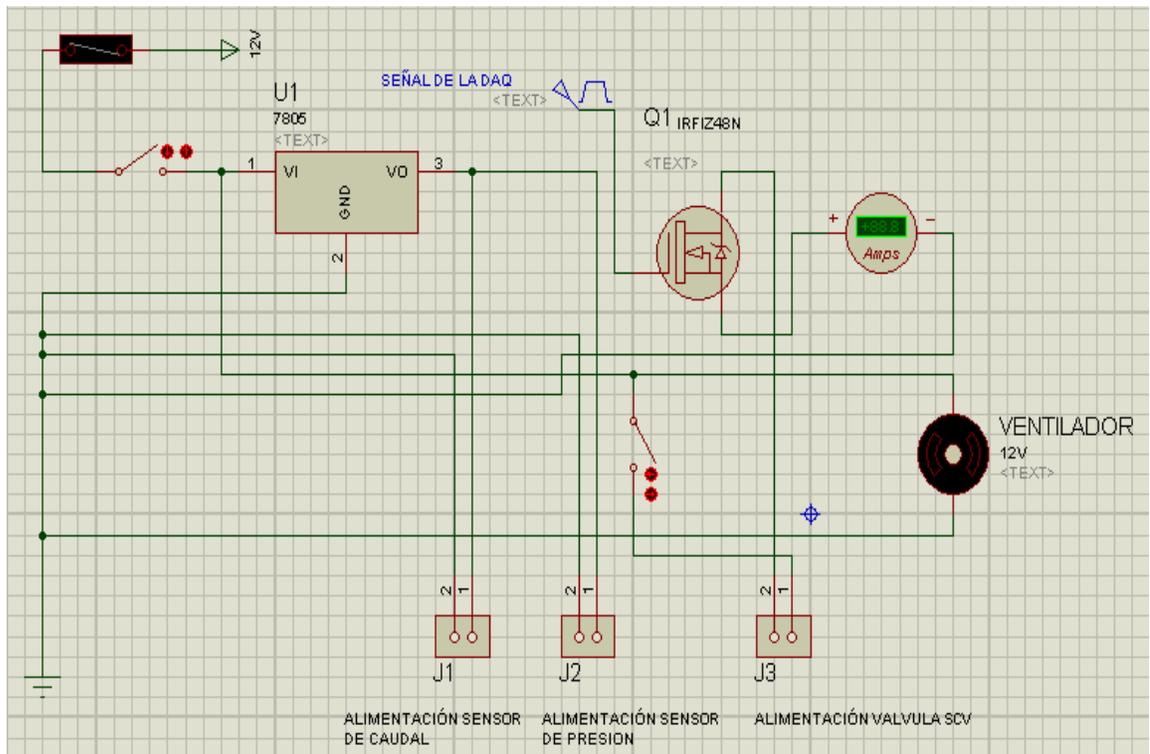


Figura 2.27 Circuito de potencia. Fuente: Autores

2.8. CONSTRUCCION DE LA CAJA DE CIRCUITO DE POTENCIA

2.8.1. Elementos

Los elementos utilizados en este circuito se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2.4 Elementos del circuito de potencia. **Fuente:** Autores.

Elemento	Cantidad
Mosfet IRFP064N	1
Regulador de tensión positiva	1
Disipador de calor	2
Amperímetro Digital	1
Interruptor pulsante de dos posiciones	1
Interruptor primavera dos posiciones	1
Ventilador helicoidal	1
Baquelita perforada	1
Caja plástica para circuitos	1
Arnés de 12 pines	1
Arnés de 2 pines	2
Cables numero 8	6metros
Puerto de 2 pines	8
Fusible de 5 Amperios	1

2.8.2. Comprobaciones del circuito

Una vez que se armó el circuito en un Protoboard, se procedió a efectuar una serie de pruebas con la bomba montada en el banco y además con todos sus accesorios ensamblados, para comprobar el buen funcionamiento del circuito.

Además estas pruebas sirvieron para tomar una serie de datos necesarios para la programación gráfica.

A continuación en la figura 2.28 se muestra el circuito de potencia:

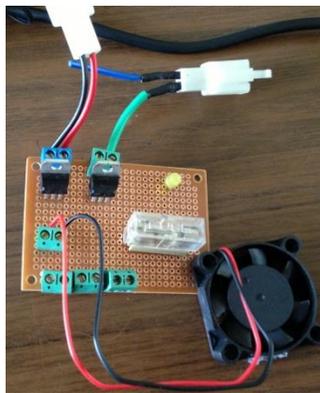


Figura 2.28 Circuito de potencia. **Fuente:** Autores.

Una vez comprobado el circuito se procede con el ensamblaje de los demás elementos de la caja porta circuitos.

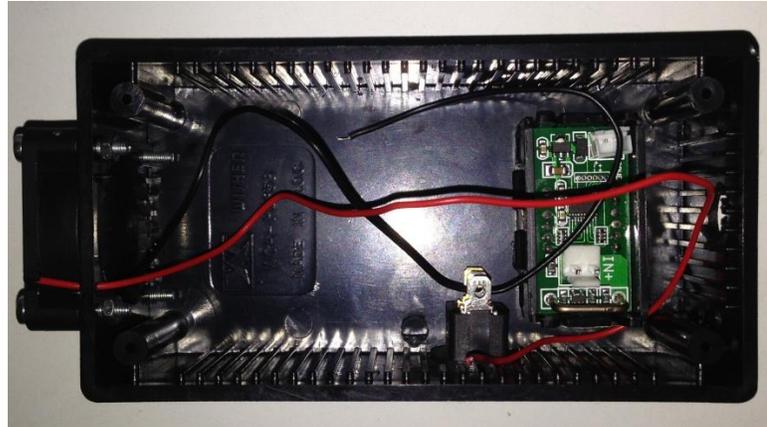


Figura 2.29 Vista interna caja de circuito de potencia. **Fuente:** Autores.



Figura 2.30 Vista externa caja de circuito de potencia. **Fuente:** Autores.

2.9. SOFTWARE Y TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Luego de buscar en el mercado las tarjetas de adquisición de datos disponibles, se optó por la tarjeta NI-USB 6212, y para su programación se eligió el software Labview, ya que entre sus paquetes de adquisición de datos, presenta una interfaz con esta tarjeta.

A continuación se procedió a buscar toda la información necesaria tanto en videos tutoriales, así como en archivos bibliográficos para la realizar la comunicación entre estos elementos.

Seguidamente se detalla las características tanto de la placa como del software ocupado en la adquisición de datos.

2.9.1. Tarjeta NI USB 6212



Figura 2.31 Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212. Fuente: [16]

Es un módulo interfaz para adquisición desarrollado por Nacional Instruments¹ que funciona con un software, generalmente con Labview, y permite realizar adquisición de datos o adquisición de señales para ser manipulados por un ordenador.

Su trabajo consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

Especificaciones Generales la tarjeta NI USB 6212

- 16 entradas analógicas (16 bits, 400 kS/s)
- 2 salidas analógicas (16 bits, 250 kS/s), 32 E/S digitales (24 para terminación masiva), 2 contadores de 32 bits
- Energizado por bus USB para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- Tecnología NI Signal Streaming para transferencia de datos sostenida a alta velocidad en USB; la versión OEM está disponible
- Compatible con LabVIEW, ANSI C/C++, C#, Visual Basic .NET y Visual Basic 6.0
- El software de NI-DAQmx y software interactivo LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos. [17]

¹ Nacional Instruments: Empresa dedicada al desarrollo y venta de productos de software, hardware y servicios.

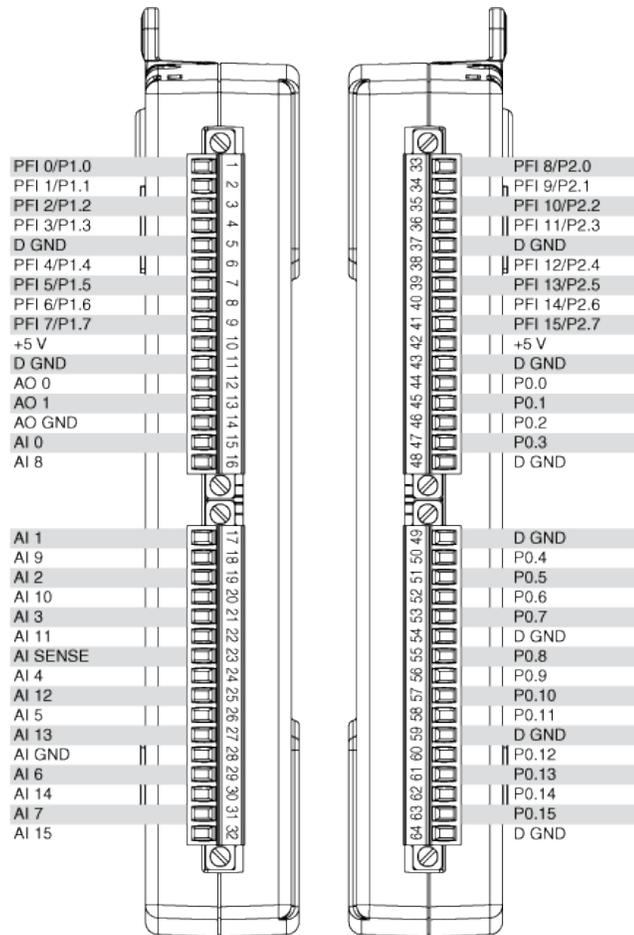


Figura 2.32 Pines de tarjeta de adquisición de datos NI USB-6212. Fuente: [16]

2.9.2. Labview.

Labview (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. [18]

2.10. PROGRAMACIONES

2.10.1. Programación para la generación de la señal.

Para la generación de señal es necesario programar en Labview, un bloque que nos permita generar una señal periódica donde podremos variar la frecuencia y modularla mediante la técnica de PWM¹ para modificar el ciclo de trabajo de la señal.

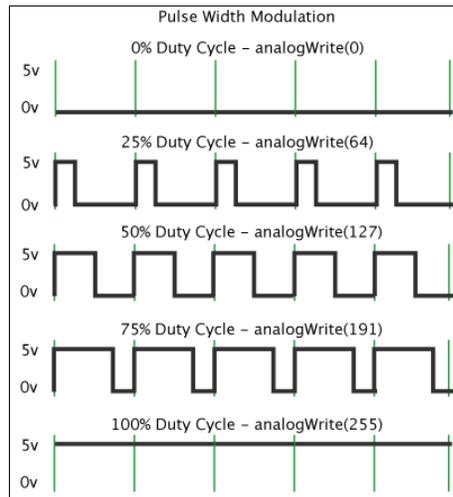


Figura 2.33 Modulación por ancho de pulso. Fuente: [19]

Para la programación se debe tener en claro que el ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente en la Ecuación 2.1:

$$D = \frac{\tau}{T} \cdot 100\%$$

Ecuación 2.1 Ciclo de trabajo o Duty Cycle. Fuente: [20]

D -Es el ciclo de trabajo

τ -Es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T -es el período de la función

El porcentaje mostrado en la Ecuación 2.1 es una medida cualitativa donde se procede a modificar la señal, de tal manera que logremos controlar la apertura de la válvula SCV. A continuación en la Figura 2.34 se muestra la programación gráfica del generador de señal realizada en el software Labview:

¹ PWM: Modulación por ancho de pulsos (siglas en inglés de *pulse-width modulation*)

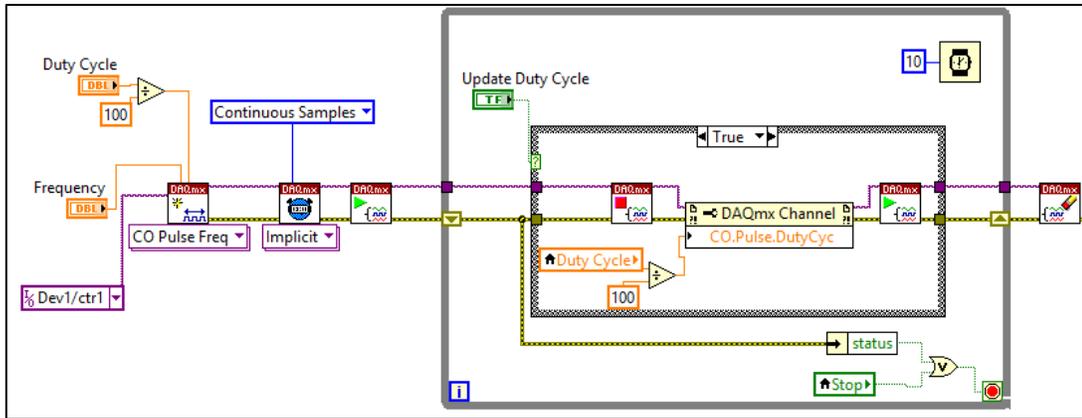


Figura 2.34 Programación gráfica del generador de señal. Fuente: Autores.

2.10.2. Programación del receptor de la señal del sensor de presión

Para la programación del receptor de señal del sensor, es necesario conocer el funcionamiento y características del sensor que se utiliza para el proyecto, como se muestra en la página 16 del capítulo anterior.

Una vez que se obtuvo toda la información y recursos necesarios se procedió a la toma de datos de este sensor. A continuación se describe el proceso que se llevó a cabo.

2.10.2.1. Proceso de caracterización del sensor de presión

- Inicialmente se procedió a instalar el riel de pruebas junto con su sensor de presión, en un banco de pruebas para sistemas Common Rail.

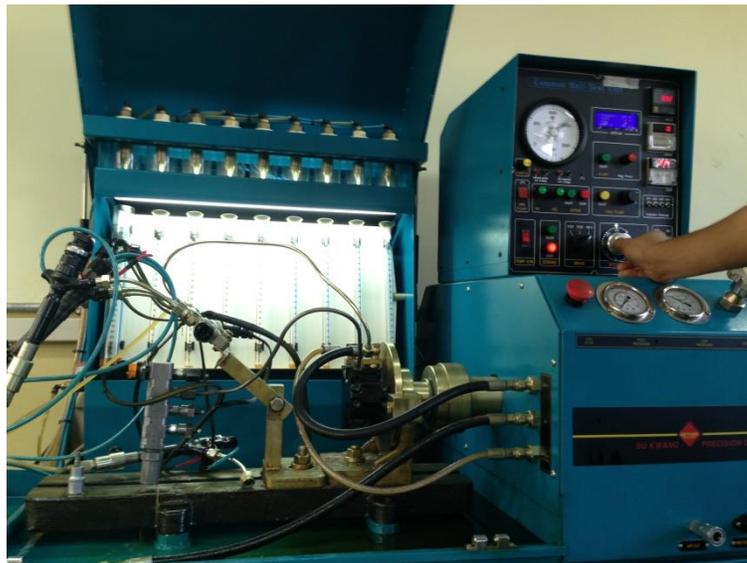


Figura 2.35 Riel de pruebas montado en el banco Common Rail. Fuente: Autores.

- Una vez montado el Riel de pruebas en el banco Common Rail se procede a instalar un Tester para visualizar el voltaje que nos indica el sensor al momento de girar el banco y acumular presión en riel.



Figura 2.36 Tester montado en el banco Common Rail. **Fuente:** Autores.

- Seguidamente se procedió a tomar los datos de presión y voltaje que marcaba el manómetro de presión del banco y el Tester respectivamente.



Figura 2.37 Manómetro de presión banco Common Rail. **Fuente:** Autores.

- Los datos de presión se tomaron desde 0 a 2000 bares en un rango de 50 bares con su respectivo valor de voltaje como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.5: Datos de prueba del sensor de presión. **Fuente:** Autores.

Bares	MPa	V	Bares	MPa	V(lectura 1)
0	0	0,5	1050	105	2,68
50	5	0,65	1100	110	2,78
100	10	0,78	1150	115	2,88
150	15	0,91	1200	120	2,97
200	20	1	1250	125	3,07
250	25	1,1	1300	130	3,17
300	30	1,22	1350	135	3,26
350	35	1,29	1400	140	3,33
400	40	1,4	1450	145	3,48
450	45	1,5	1500	150	3,58
500	50	1,6	1550	155	3,67
550	55	1,71	1600	160	3,77
600	60	1,82	1650	165	3,85
650	65	1,89	1700	170	3,96
700	70	1,95	1750	175	4,05
750	75	2	1800	180	4,15
800	80	2,19	1850	185	4,26
850	85	2,29	1900	190	4,36
900	90	2,39	1950	195	4,46
950	95	2,49	2000	200	4,6
1000	100	2,58			

- Gracias a los valores obtenidos se conoce el comportamiento del voltaje en este tipo de sensor. Se sabe que el voltaje varía en forma lineal y directamente proporcional a la presión, por lo que con los valores obtenidos se procede a ingresarlos en un software matemático, para obtener una ecuación lineal que describa el comportamiento del sensor en función al voltaje que proporcione el sensor, y así saber el valor de presión en cualquier etapa.

La ecuación obtenida es la siguiente, donde x es el voltaje proveniente del sensor.

$$P = 50.3x - 29,54$$

Ecuación 2.2 Ecuación del comportamiento de la presión con respecto al voltaje. **Fuente:** Autores.

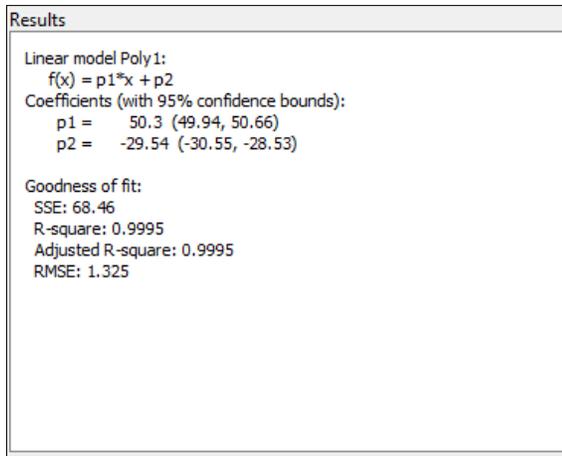
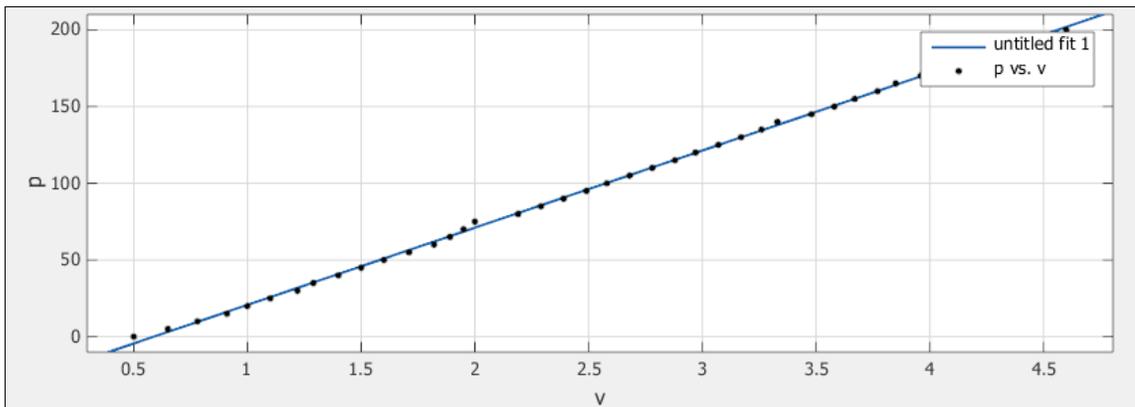


Tabla 2.6 Coeficientes de la curva del sensor de presión. **Fuente:** Autores.



Grafica 2.1 Curva del comportamiento de la presión con respecto al voltaje. **Fuente:** Autores.

Esta ecuación la ingresamos en Labview, con lo que obtenemos finalmente la programación para la lectura de la presión.

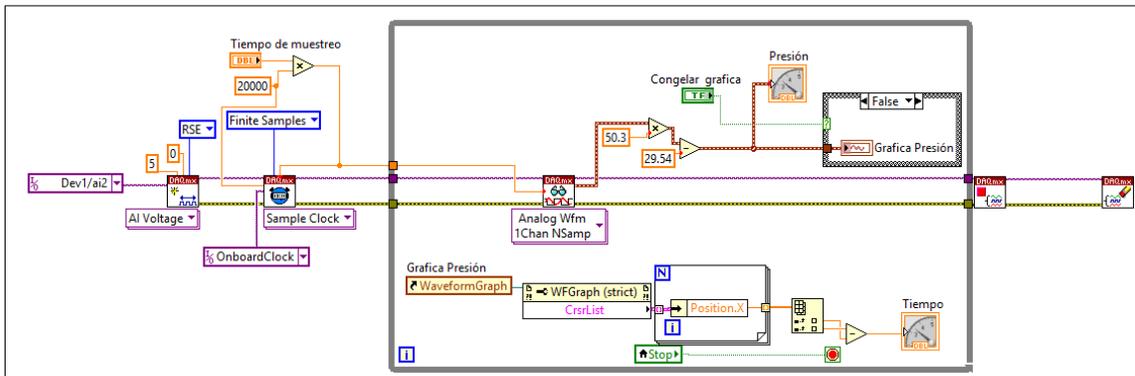


Figura 2.38 Programación en grafica de la lectura de presión. **Fuente:** Autores.

2.10.3. Programación del sensor de caudal

Una vez que se tuvo claro el comportamiento de la señal del sensor de caudal en la página 32 y 33 del capítulo anterior, se procede a realizar un ensayo para obtener la cantidad de diesel que circula por el sensor de caudal, en un tiempo estimado y con su frecuencia correspondiente; para ello se utiliza un osciloscopio, un cronometro, y una fuente para alimentar el sensor de caudal.



Figura 2.39 Ensayo de comprobación de caudal. **Fuente:** Autores.

El tiempo cronometrado de medición del diesel que circula por el sensor fue de 30 segundos, luego se procedió a medir la cantidad de diesel con ayuda de una probeta de 150ml como se muestra en la figura 2.36.



Figura 2.40 Comprobación de la lectura de caudal. **Fuente:** Autores.

El caudal que se llegó a medir fue de 1.085 litros en 30 segundos o a su vez 130.2 l/h con una frecuencia que marco el osciloscopio de 7,8637 hertzios.

Con estos datos se procedió calcular los números de pulsos en un segundo

$$\#pulsos = \frac{1}{\tau} = Frecuencia$$

Ecuación 2.3 Ecuación del conteo de pulsos. **Fuente:** Autores.

Donde τ es el periodo de la señal del sensor de caudal.

Y como se explica en la ecuación el número de pulsos es igual a la frecuencia de la señal generada por el sensor de caudal.

Con el caudal medido en litros por hora se procede a buscar el factor de conversión de frecuencia a caudal con la siguiente ecuación:

$$f_x = \frac{Caudal}{Frecuencia} = \frac{130.2}{7.8637} = 16.56$$

Ecuación 2.4 Ecuación del factor de conversión de frecuencia-caudal. **Fuente:** Autores.

Donde f_x es el factor de conversión.

Luego de obtener los datos se procedió a programar en Labview para que el software sea capaz de contar los pulsos que diera en un minuto, ya que se tiene como dato que cada pulso es igual 46 ml (mililitros). La programación final para la lectura de caudal en Labview es la siguiente:

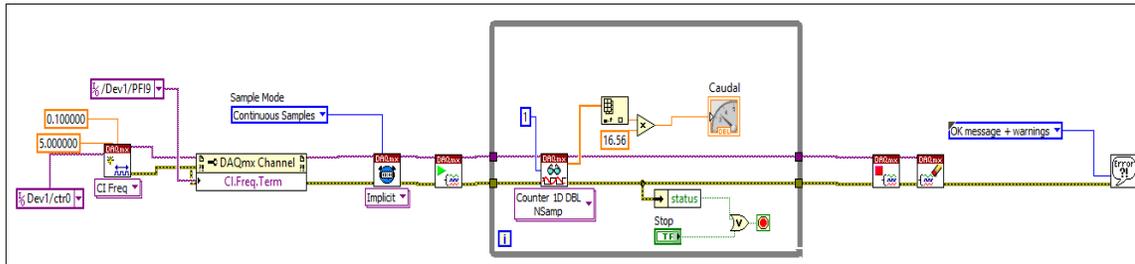


Figura 2.41 Programación en bloques de la lectura de caudal. **Fuente:** Autores.

Una vez finalizada la programación se volvió a realizar la prueba bajo las mismas condiciones de funcionamiento para comprobar si la programación está trabajando de manera correcta, obteniendo el siguiente resultado:

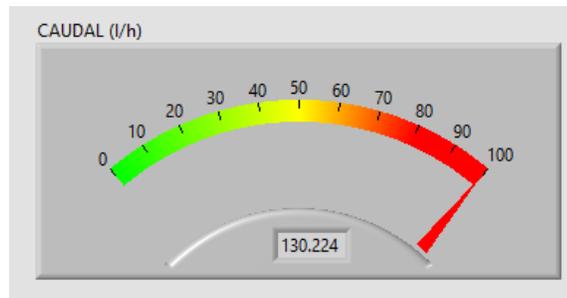


Figura 2.42 Medición de caudal en Labview. **Fuente:** Autores.

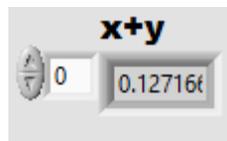


Figura 2.43 Medición del periodo de la señal del caudal en Labview. **Fuente:** Autores.

Como se aprecia en las figuras 2.38 y 2.39, el valor calculado con el valor obtenido en la programación, varía con 0.024, obteniendo una confiabilidad del resultado de 99.98%

2.10.4. Programación de la visualización de los datos de funcionamiento

Luego de probar varias maneras de visualizar los datos de funcionamiento, se optó por crear un archivo de texto con los datos de funcionamiento de cada vehículo con sistema CRDI presente en el país.

Para poder visualizar, los datos de un vehículo específico abra que hacerlo desde la ventana principal del simulador, en una pestaña desplazable habrá que escoger la marca y en otra el

modelo de vehículo. Una vez seleccionado ambos se mostrara en una ventana los datos de funcionamiento de ese vehículo.

La base datos está constituida por los vehículos con sistema Bosch existentes en el país, al ser la marca líder en el país con el simulador se abarcara más de la mitad de los vehículos presentes en el mercado.

En la figura 2.38 se muestra la programación gráfica del diagrama de bloques de visualización de los datos de funcionamiento y guía de usuario.

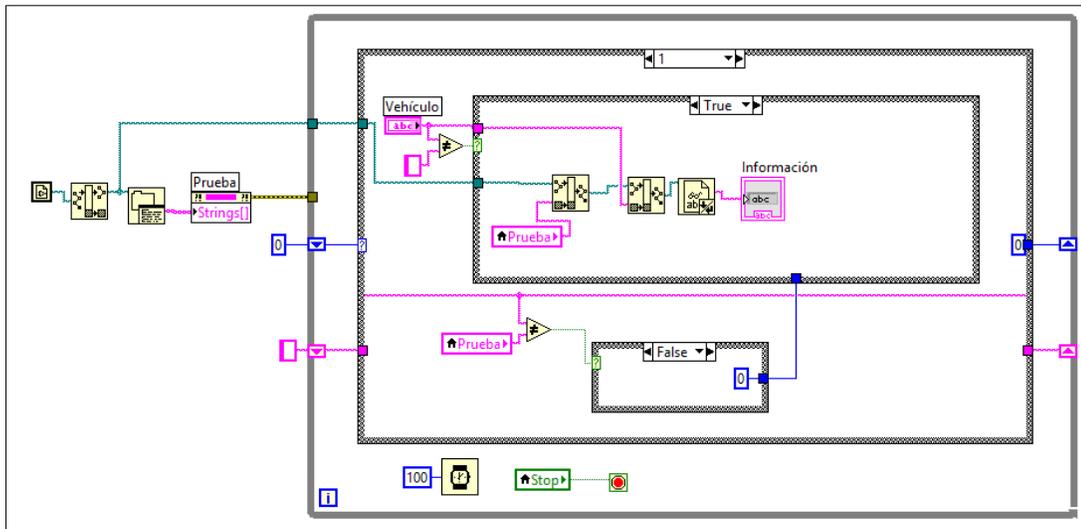


Figura 2.44 Programación en bloques de la visualización de los datos de funcionamiento. **Fuente:** Autores.

Una vez que se obtuvo un correcto funcionamiento de cada programación por separado, se procedió a armar todos los bloques en un solo archivo, el mismo cumple con todos los requisitos expuestos al inicio de la investigación.

A continuación se muestra la programación grafica final del simulador:

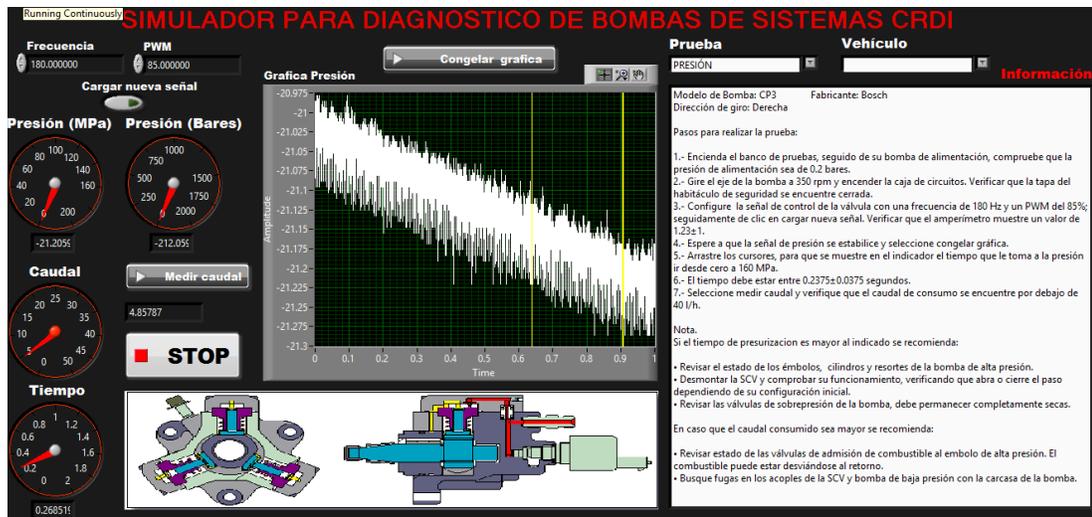


Figura 2.45 Interfaz gráfica del simulador. Fuente: Autores.

2.11. CONSTRUCCIÓN DEL HABITÁCULO DE SEGURIDAD

El funcionamiento de los accesorios del simulador, y en especial la válvula de sobrepresión, provocan salpicaduras del líquido de pruebas que proporciona el banco de pruebas.

Para evitar que el operario reciba dichas salpicaduras y que sufra algún daño en caso de fugas o percances en el funcionamiento del simulador, se construyó una cámara de seguridad que garantice la protección deseada en el sistema.

El habitáculo de seguridad fue construido con láminas de acrílico transparente para mayor visualización del sistema.



Figura 2.46 Corte de la lámina de acrílico. Fuente: Autores.

El ensamblaje del habitáculo se realizó con ayuda de tiras de un ángulo de aluminio para mayor fijación y rigidez del mismo.

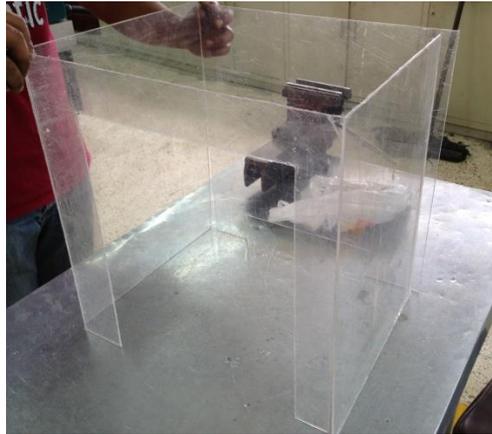


Figura 2.47 Ensamblaje del habitáculo de seguridad. **Fuente:** Autores.

El habitáculo se construyó también con una tapa para facilitar la manipulación de los elementos del sistema y con las dimensiones apropiadas, de tal manera que se acople adecuadamente en el banco de pruebas.

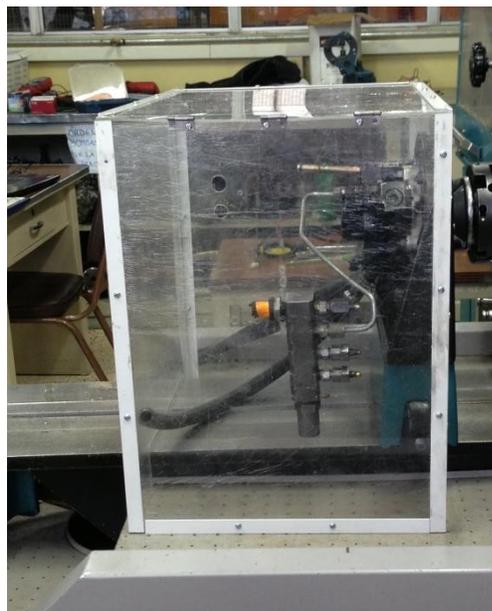


Figura 2.48 Habitáculo de seguridad. **Fuente:** Autores.

2.12. MONTAJE DE LOS ACCESORIOS DEL SIMULADOR

Para el correcto funcionamiento del simulador es necesario añadir algunos accesorios como se muestran en la Tabla 2.5:

Tabla 2.7 Accesorios del simulador. **Fuente:** Autores.

Accesorio	Cantidad
Manguera de alta presión H100 de 1/2"	3 metros
Ojo de cañería con espiga de 1/2"	2
Acople de cañería con espiga de 3/8"x1/2"	2
Bridas de tornillo	6
Perno racor de cañería de 1/2"	2

Todos los accesorios y elementos construidos se montaron en el banco de pruebas para que a continuación se empiece a realizar las pruebas que se mencionaran en el siguiente capítulo.



Figura 2.49 Simulador y sus accesorios. **Fuente:** Autores.

CAPÍTULO III

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL SIMULADOR.

3.1. INTRODUCCIÓN

Esta última parte del proyecto está enfocada a la realización de pruebas con todos los equipos construidos en el capítulo anterior, así como a la calibración del equipo realizando las respectivas modificaciones.

Además se efectúa la validación de los resultados obtenidos mediante un software apropiado.

3.2. CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN DE PRESIÓN

Con la ayuda de un equipo para calibración de manómetros con el que cuenta la carrearera de ingeniería mecánica en uno de sus laboratorios, se procede a tomar nuevamente los datos correspondientes a la presión y voltaje, para así poder tener una medición exacta de la presión.

A continuación se describe detalles del equipo utilizado para la medición.

3.2.1. Calibrador de presión DPC-501

El DPC-501 es una solución fácil de usar, preciso y compacto para calibraciones de comparación de presión. El calibrador de presión electrónico DPC-501 se utiliza para la calibración de alta precisión de los instrumentos de presión, medidores de presión, por ejemplo, transmisor de presión, manómetro digital, interruptores de presión, válvulas de protección contra la sobrepresión, etc.

El sensor de referencia incorporado es variable, por lo que varios rangos de presión se pueden cubrir con una DPC-501 unidad. Todos los rangos de presión estándar entre vacío y 1.000 bar (14.500 psi) están disponibles, así como los rangos de vacío y presión absoluta.



Figura 3.1 Equipo de calibración de presión. **Fuente:** Autores

Una vez que se realizó las conexiones necesarias se obtiene el siguiente montaje de todos los equipos.

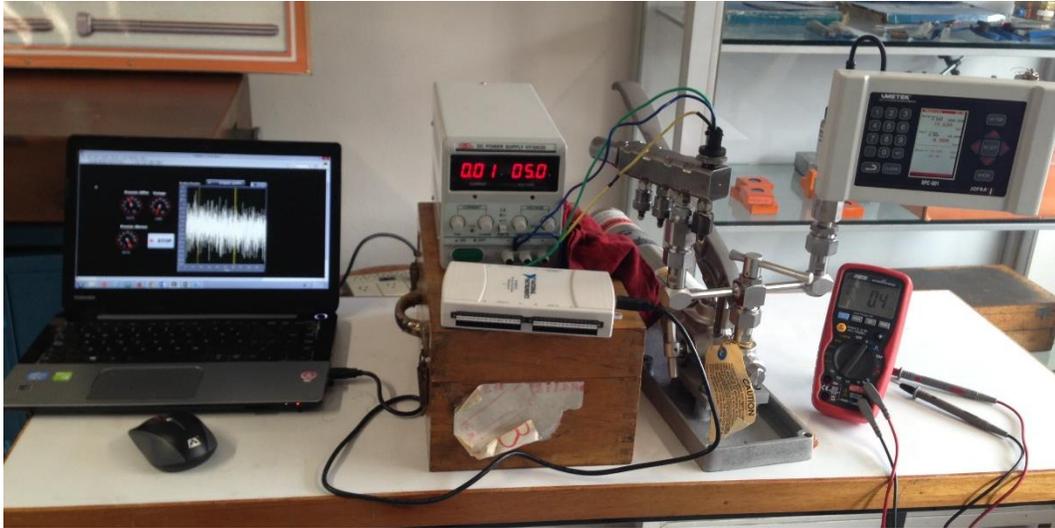


Figura 3.2 Montaje del equipo de calibración de presión. **Fuente:** Autores.



Figura 3.3 Medición con el equipo de calibración de presión. **Fuente:** Autores.

Luego de realizar las pruebas de medición se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Valores de voltaje y presión – prueba de sensor con calibrador de manómetros. **Fuente:** Autores.

Presión (MPa)	Voltaje (V)
0	0.5
5.52	0.62
9.53	0.70
14.8	0.83
17.86	0.89
25.8	1.07
36.5	1.31
45.00	1.50
52.4	1.66
57.3	1.78
68.6	2.03
81.2	2.33
85.4	2.40
89.6	2.50

Con los datos obtenidos se procede a elaborar una nueva ecuación utilizando un software matemático, de lo cual se obtiene unos coeficientes con un 95% de confiabilidad, como se aprecia en la graficas 3.4 y 3.5.

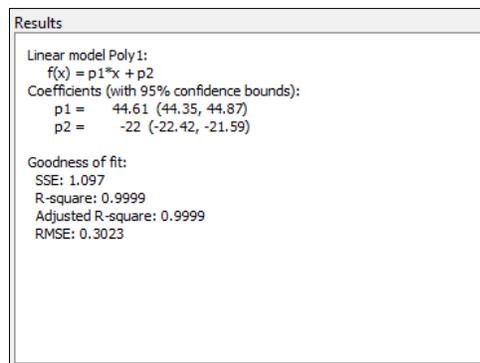
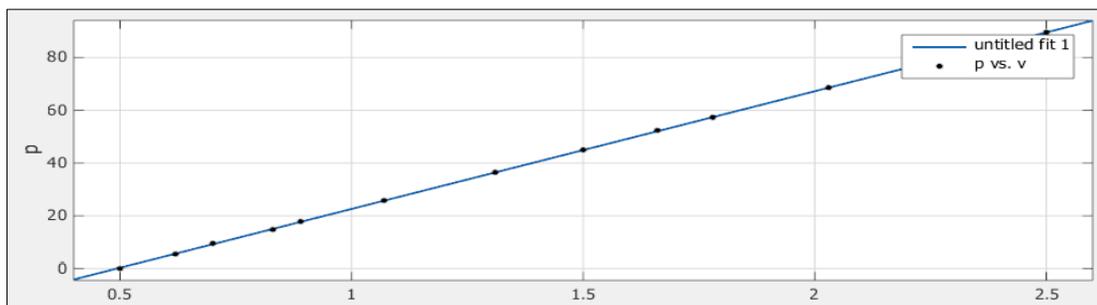


Tabla 3.2 Coeficientes de la curva del sensor de presión. **Fuente:** Autores.



Grafica 3.1 Curva del sensor de presión. **Fuente:** Autores.

Los nuevos coeficientes obtenidos son ingresados en la programación de la lectura de presión, como se aprecia a continuación.

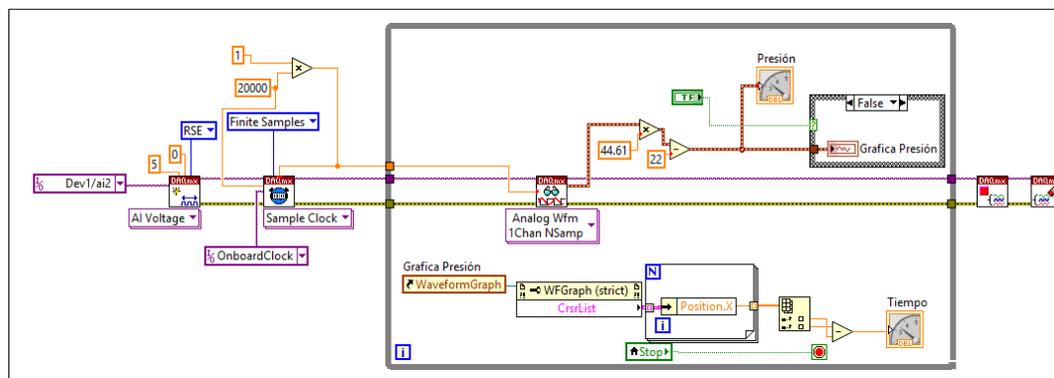


Figura 3.4 Programación en bloques del sensor de presión. Fuente: Autores.

Una vez que se obtiene una lectura más exacta de la presión es posible ejecutar las distintas pruebas con el simulador.

3.3. DESCRIPCION DE PRUEBAS DEL SIMULADOR

3.3.1. Descripción de la prueba de presión

Luego de una investigación se opta por verificar el estado de la bomba mediante un análisis cualitativo, en el cual se verifica el tiempo que la presión va desde cero a 1600 bares (160 MPa) que es la presión máxima con la que trabaja el motor en el que viene equipada esta bomba, es decir el tiempo que le toma llegar al 100% de su presión, aprovechando las características de Labview para la visualización de la señal de presión; así como para medir el tiempo que le toma a la bomba efectuar esta acción.

Para que la medición sea exacta se calibra la válvula de sobrepresión, con la ayuda del banco de pruebas Su Kwang presente en laboratorio diésel, para que la liberación de presión se efectúe a la presión especificada anteriormente. La calibración se logra apreciar de una mejor manera en las figuras de a continuación.



Figura 3.5 Calibración de la válvula de sobrepresión 1. Fuente: Autores.



Figura 3.6 Calibración de la válvula de sobrepresión 2. Fuente: Autores.

3.3.2. Descripción de la prueba de estanqueidad

Para realizar la prueba de estanqueidad se opta por un análisis cualitativo parecido al de la prueba de presión, con la diferencia que no se busca llegar a la presión máxima; en cambio se busca determinar las RPM adecuadas en las que la bomba mantenga la presión más cercana a su valor máximo. El porcentaje de diferencia aceptable será determinado por las distintas pruebas que se realice.

3.3.3. Descripción de la prueba de caudal

A diferencia de las pruebas anteriores en esta se verificara que valor de caudal de consumo se encuentre por debajo del caudal máximo especificado por el fabricante de la bomba, a distintas revoluciones. Los mismos que se exponen a continuación.

Tabla 3.3 Caudal máximo de una bomba Bosch. **Fuente:** Autores.

Caudal máximo	RPM
40 l/h	300
120 l/h	2500

3.4. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS

3.4.1. Configuración de la señal de comando de la válvula SCV

Esta señal puede ser modificada tanto en frecuencia como en PWM, para la determinación de la frecuencia se tomara el valor que utiliza un banco propio de la marca de la bomba para realizar sus pruebas, que es de 180 Hz; tal como se aprecia en la siguiente figura.

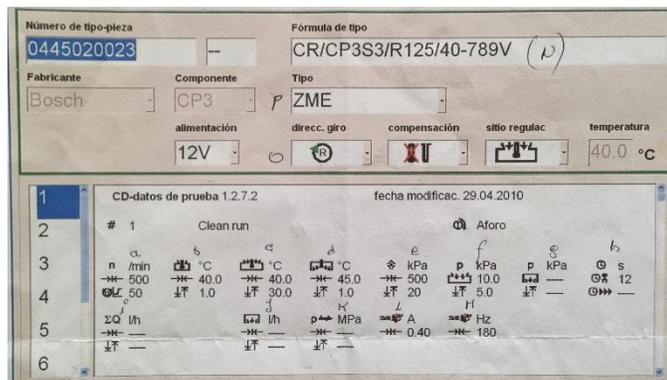


Figura 3.7 Parámetros de un banco de pruebas Bosch. **Fuente:** Autores.

Una vez obtenido el valor de la frecuencia se procede a realizar pruebas variando el PWM y ubicando una velocidad de giro constante en el banco para determinar el rango de trabajo y de esta manera determinar el valor más apropiado de PWM para realizar las distintas pruebas. Se determinó ejecutar las pruebas con los datos expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Ajustes del simulador para la determinación del PWM. **Fuente:** Autores.

RPM	Frecuencia(Hz)	PWM (%)
300	180	10
300	180	20
300	180	30
300	180	40
300	180	50
300	180	60
300	180	70
300	180	80
300	180	90
300	180	100

Luego de realizar las pruebas se obtiene que variando desde 10 al 80 %, no se presentaba mayor cambio en el comportamiento de la bomba, sin embargo al ubicar un PWM del 90% la presión no lograba llegar a su valor máximo, por lo que se opta por analizar el comportamiento de la bomba en este rango de PWM, de lo cual se obtiene los siguientes resultados, que se exponen a continuación.

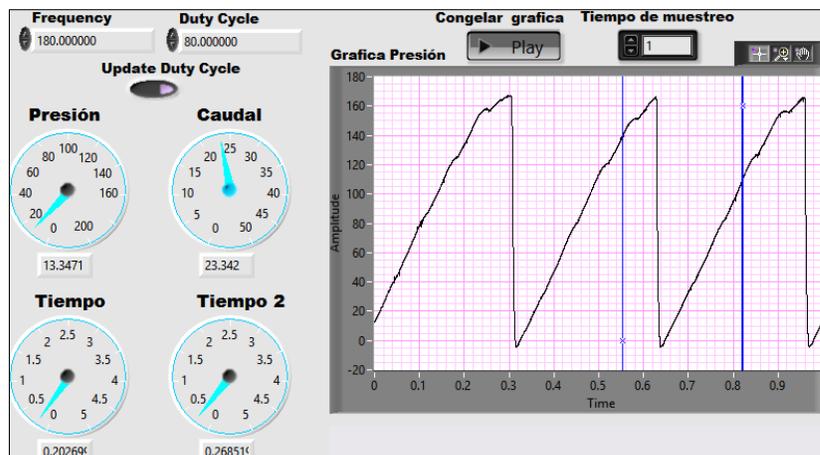


Figura 3.8 Resultado con un PWM del 80%. **Fuente:** Autores.

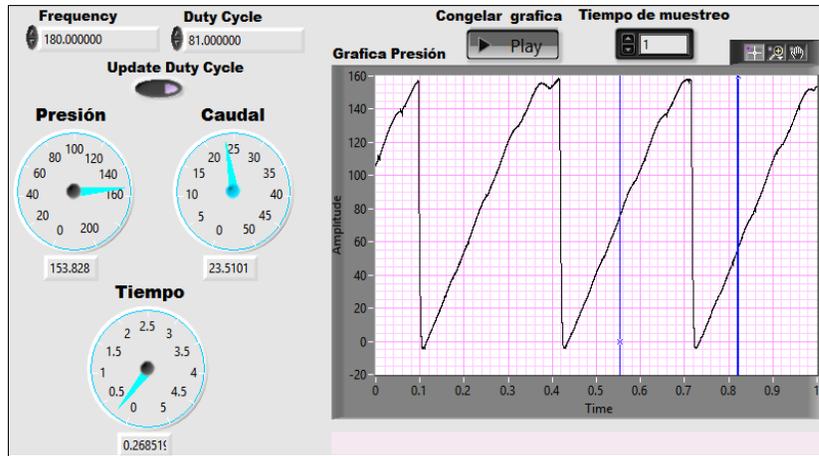


Figura 3.9 Resultado con un PWM del 81%. Fuente: Autores.

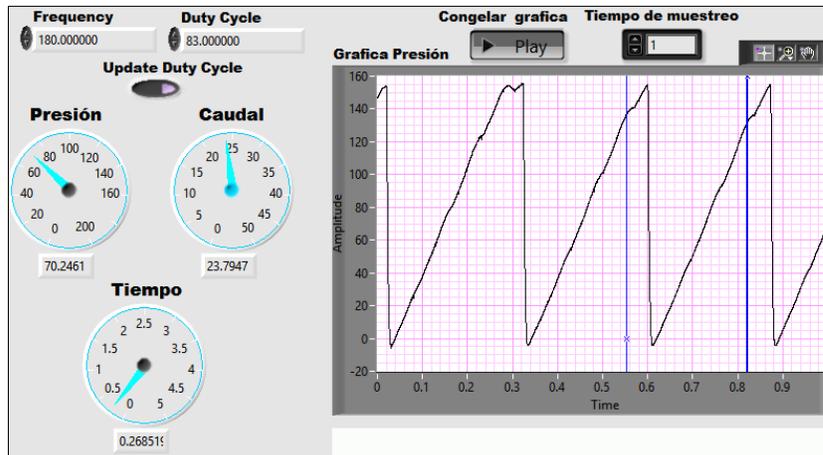


Figura 3.10 Resultado con un PWM del 83%. Fuente: Autores.

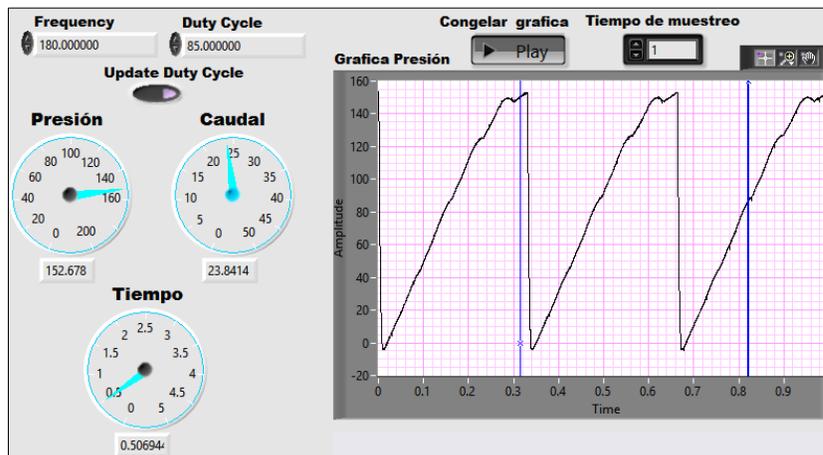


Figura 3.11 Resultado con un PWM del 85%. Fuente: Autores.

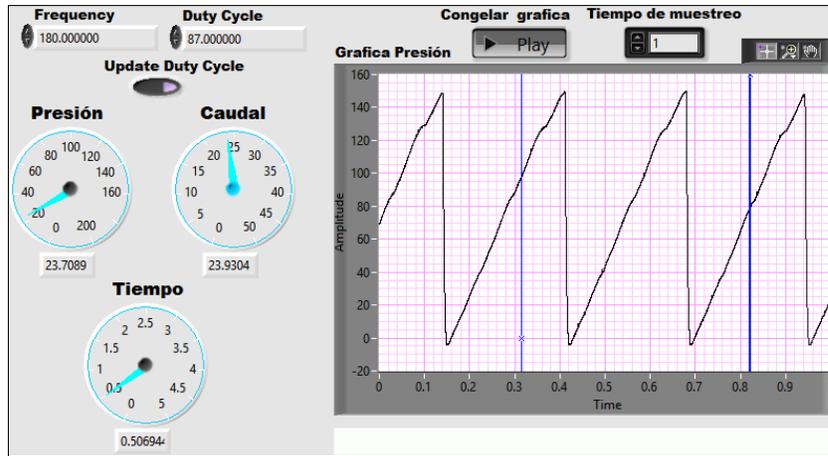


Figura 3.12 Resultado con un PWM del 87%. Fuente: Autores.

Como se aprecia en la figura el valor de la presión se comporta de una forma normal subiendo de 0 a 160 MPa y descendiendo súbitamente debido a la acción de la apertura de la válvula de sobrepresión. Este comportamiento se mantiene hasta cuando se ubica valores de PWM mayores al 88% donde ya es posible notar una variación en el comportamiento de la presión. Como se visualiza en las siguientes figuras.

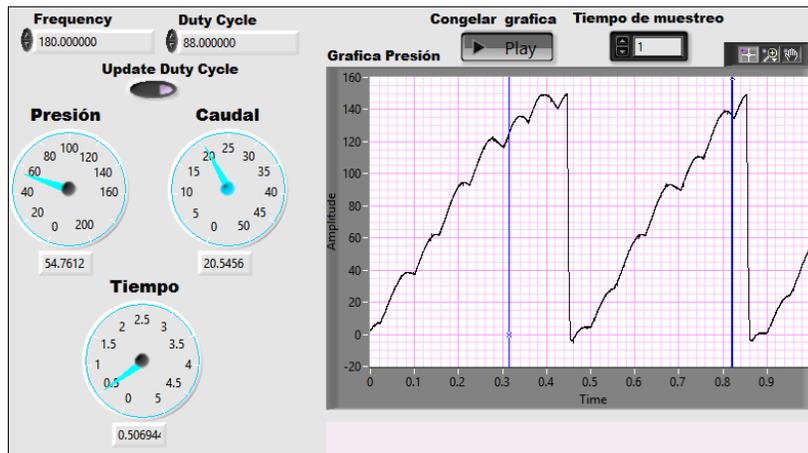


Figura 3.13 Resultado con un PWM del 88%. Fuente: Autores.

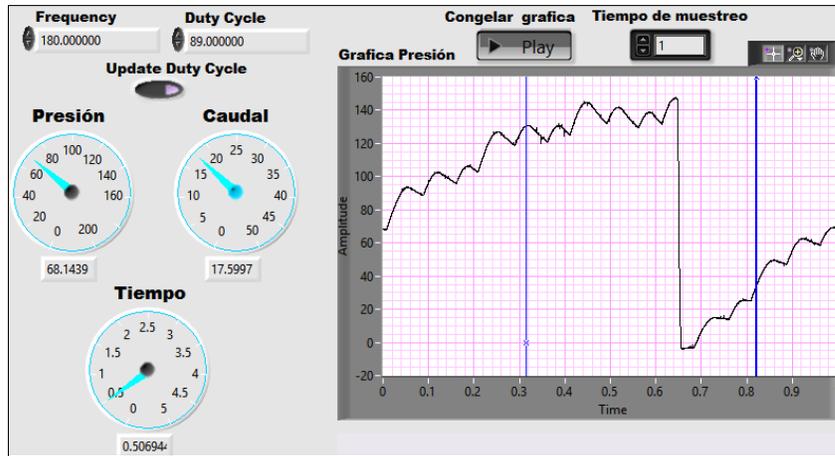


Figura 3.14 Resultado con un PWM del 89%. Fuente: Autores.

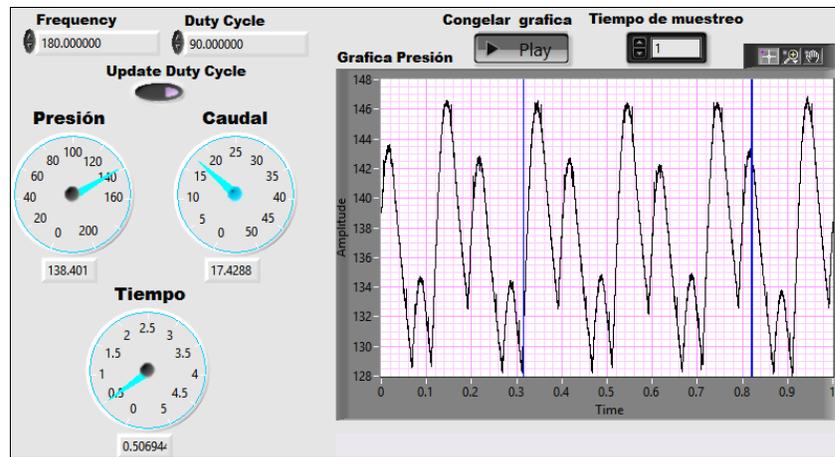


Figura 3.15 Resultado con un PWM del 90%. Fuente: Autores.

Las gráficas muestran como la presión no aumenta de manera lineal, llega a un valor cercano al máximo pero presenta con fluctuaciones en su amplitud, esto ayuda a deducir que luego de determinadas pruebas es necesario calibrar la válvula de sobrepresión y además que se puede ubicar cualquier valor de PWM menor a un 88%.

Con los resultados obtenidos se opta por configurar la señal de comando con una frecuencia de 180 Hz y un PWM de 85%, este dato puede variar luego de realizar el resto de pruebas de considerarse necesario.

3.4.2. Determinación de las RPM

Una vez que se obtiene la configuración de la señal es necesario determinar que numero de revoluciones se debe ejecutar cada prueba por lo que se determina realizar pruebas a diferentes rpm y manteniendo constante la señal ya obtenida. Los valores a los que se realiza cada prueba se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.5 Ajustes del simulador para la determinación de las RPM. **Fuente:** Autores.

RPM	Frecuencia(Hz)	PWM (%)
100	180	85
150	180	85
200	180	85
250	180	85
300	180	85
350	180	85
400	180	85

Una vez realizadas las pruebas se obtiene los siguientes resultados, los cuales se muestra con su debida interpretación.

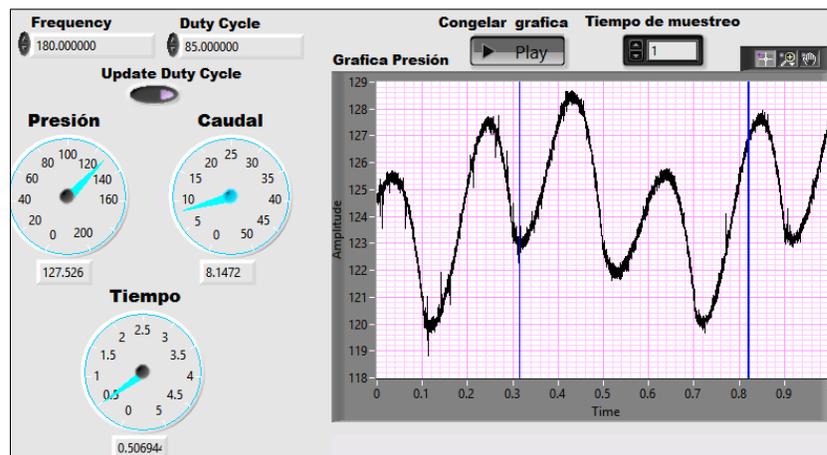


Figura 3.16 Resultado a 100 rpm. **Fuente:** Autores.

Como se aprecia en la figura la presión no llega a su valor máximo, se mantiene oscilando entre el 75 y 80% del mismo, por lo que a estas revoluciones no habría como realizar la prueba de presión.

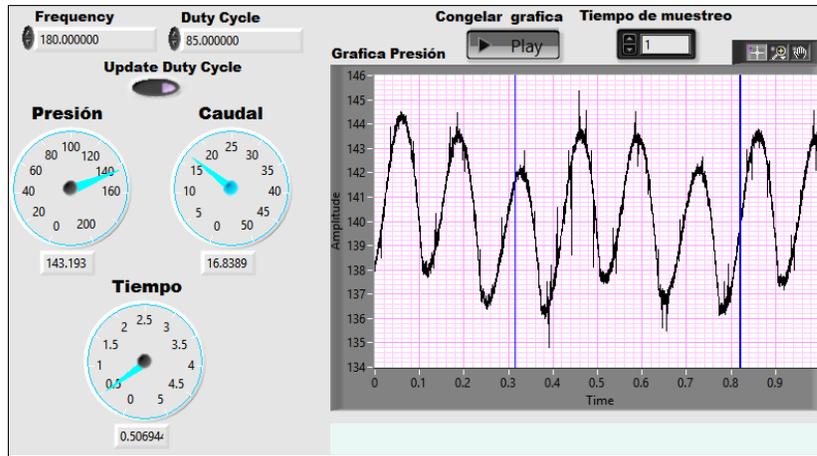


Figura 3.17 Resultado a 150 rpm. Fuente: Autores.

Al igual que la prueba anterior la presión no alcanza el valor máximo, pero en cambio la oscilación de la misma se da entre un 83 y 90% del valor máximo.

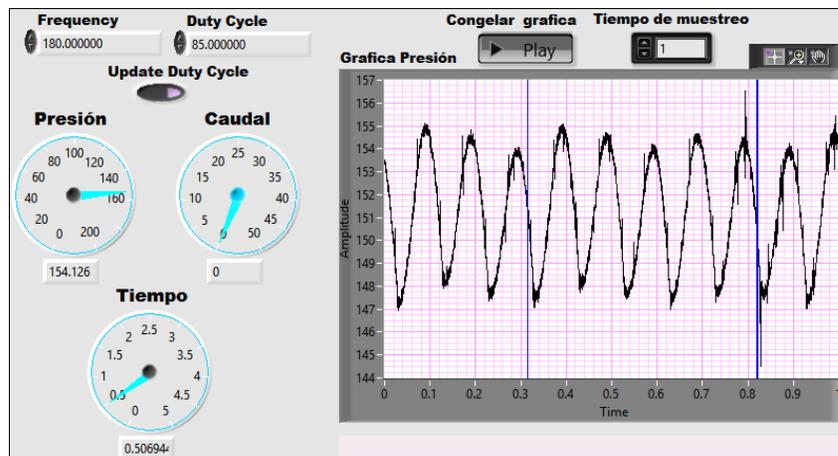


Figura 3.18 Resultado a 200 rpm. Fuente: Autores.

El comportamiento presente en las pruebas anteriores continua presente, pero el valor en que oscila la presión se encuentra entre el 91 y 97% del valor máximo, lo cual es un indicativo que estas revoluciones son las idóneas para realizar la prueba de estanqueidad.

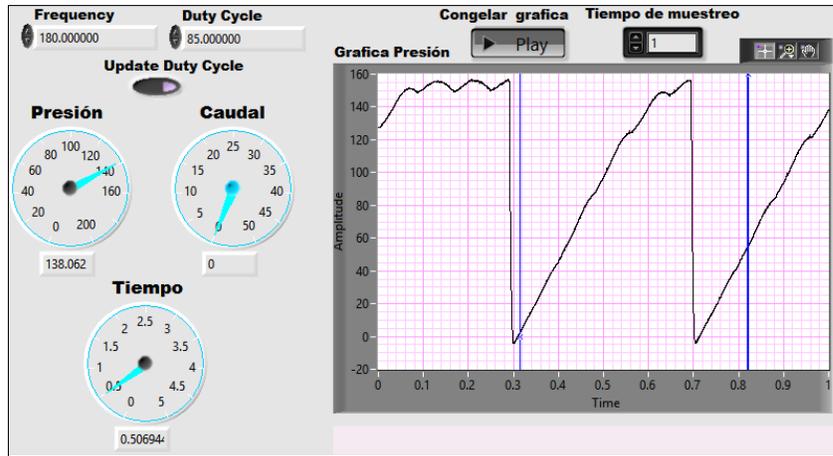


Figura 3.19 Resultado a 250 rpm. Fuente: Autores.

A estas revoluciones se logra apreciar el comportamiento de la presión idóneo para realizar la prueba de presión sin embargo el mismo no se estabiliza por lo que el tiempo que le toma a la bomba presurizar a su valor máximo no es constante.

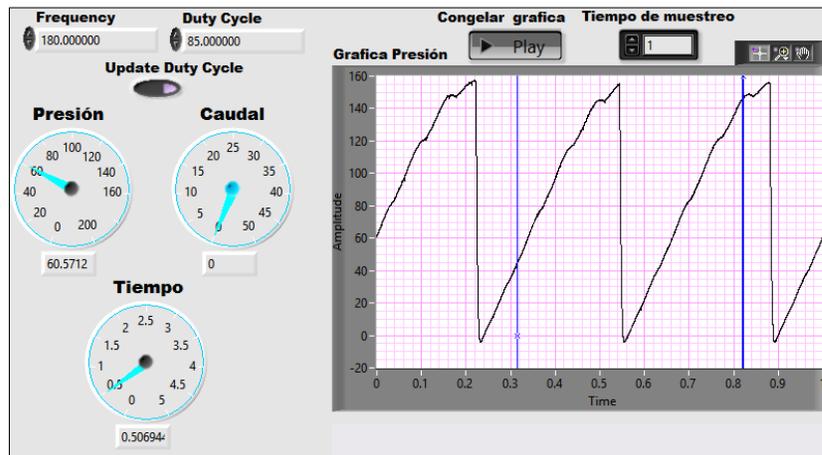


Figura 3.20 Resultado a 300 rpm. Fuente: Autores.

Se logra estabilizar el comportamiento de la presión así como el tiempo que toma llegar al valor máximo, pero la fluctuación que se muestra casi al final de la curva podría ser determinante al momento de escoger las revoluciones óptimas para la prueba de presión.

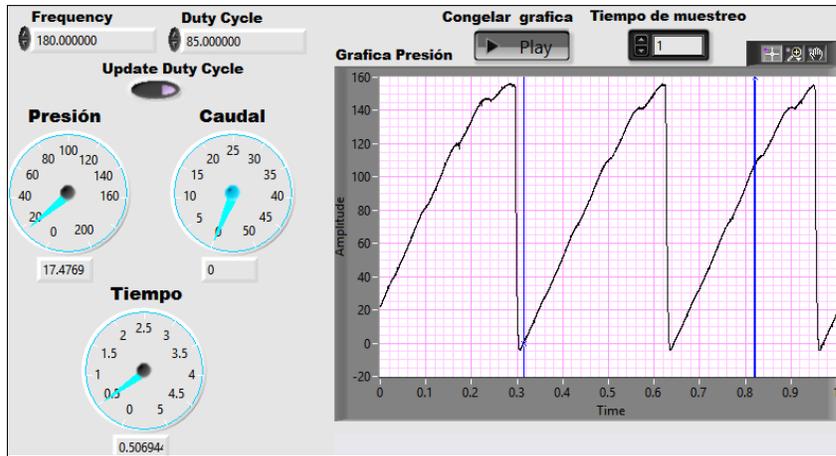


Figura 3.21 Resultado a 350 rpm. **Fuente:** Autores.

La fluctuación expuesta en la prueba anterior continua presente, pero la misma es atenuada a estas revoluciones, pero el tiempo que le toma llegar a esta presión es constante.

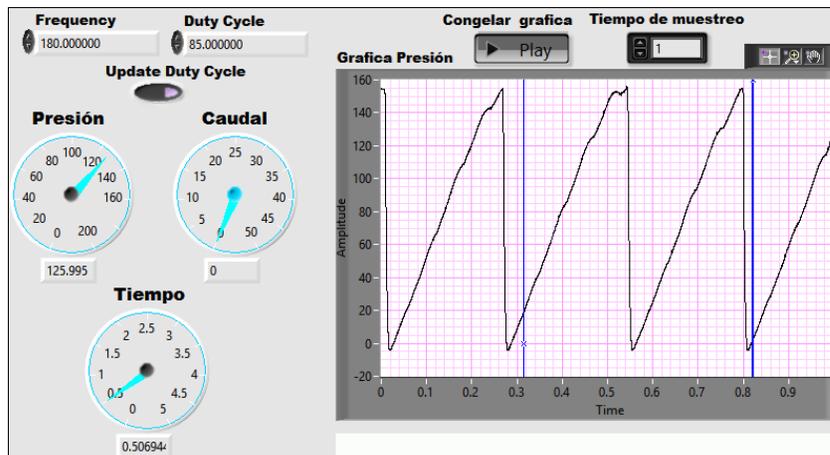


Figura 3.22 Resultado a 400 rpm. **Fuente:** Autores.

La figura muestra como la fluctuación expuesta es atenuada en mayor proporción, lo cual es un indicativo que la misma es propia del comportamiento de la presión.

Una vez realizadas todas las pruebas se opta por realizar la prueba de presión a 350 rpm ya que a estas revoluciones la rampa de presión graficada se muestra estable, además a este número de revoluciones de la bomba el motor se encuentra girando a 700 rpm; lo cual es un valor promedio de giro en ralentí de un motor con un sistema CRDI.

Finalmente se obtiene la siguiente tabla con los valores de RPM correspondientes a cada prueba, cabe destacar que la prueba de caudal de combustible consumido se realizara durante la ejecución del resto de pruebas.

Tabla 3.6 RPM correspondientes a cada prueba. **Fuente:** Autores.

RPM	Prueba
200	Estanqueidad
350	Presión

3.5. PROCESO PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS

Una vez determinados todos los parámetros con los que se debe realizar las pruebas, es necesario establecer un algoritmo para la ejecutar las mismas, este último se describe a continuación para cada prueba.

3.5.1. Prueba de presión

1.- Encender el banco de pruebas, seguido de su bomba de alimentación, compruebe que la presión de alimentación sea de 0.2 bares.



Figura 3.23 Interruptor de encendido del banco de pruebas. **Fuente:** Autores.



Figura 3.24 Manómetro de presión de alimentación. **Fuente:** Autores.

2.- Gire el eje de la bomba a 350 rpm y encender la caja de circuitos. Verificar que la tapa del habitáculo de seguridad se encuentre cerrada.

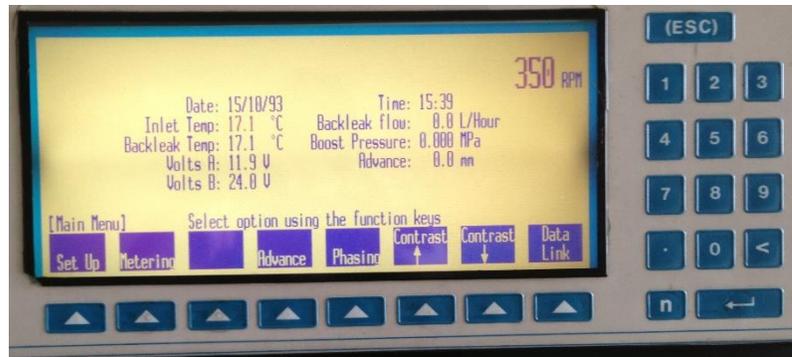


Figura 3.25 Panel de control del banco de pruebas. **Fuente:** Autores.

3.- Ejecute el simulador y seleccione tanto la prueba como el vehículo al que pertenezca la bomba, luego configure la señal de control de la válvula con una frecuencia de 180 Hz y un PWM del 85%; seguidamente de clic en cargar nueva señal. Verificar que el amperímetro muestre un valor de 1.23 ± 1 .

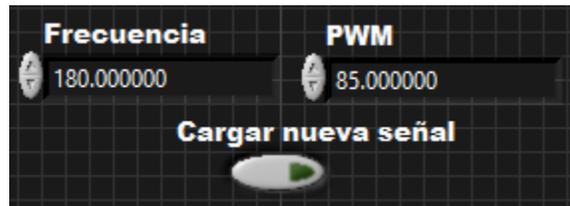


Figura 3.26 Ventanas de configuración de la señal de la válvula. **Fuente:** Autores.

4.- Espere a que la señal de presión se estabilice y seleccione congelar gráfica.

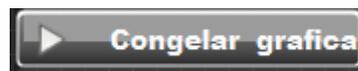


Figura 3.27 Botón para congelar la gráfica. **Fuente:** Autores.

5.- Arrastre los cursores, para que se muestre en el indicador el tiempo que le toma a la presión ir desde cero a 160 MPa.

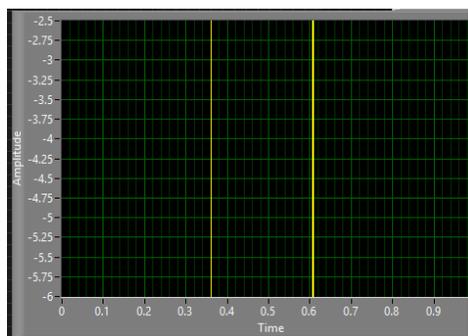


Figura 3.28 Ventana de visualización de presión. **Fuente:** Autores.



Figura 3.29 Indicador de tiempo. Fuente: Autores.

6.- Compare el valor obtenido con el correspondiente al vehículo.

7.- Seleccione medir caudal y verifique que el caudal de consumo se encuentre por debajo de 40 l/h.

Este el procedimiento para ejecutar la prueba de presión, este procedimiento también se muestra en la interfaz gráfica del simulador, pero expuesta desde el punto en que el operador comienza a realizar las pruebas a la bomba. El procedimiento que se expone en el simulador se muestra a continuación.

Prueba	Vehículo
PRESIÓN	CHEROKE.txt
Información	
Modelo de Bomba: CP3 Fabricante: Bosch Dirección de giro: Derecha	
Pasos para realizar la prueba:	
1.- Encienda el banco de pruebas, seguido de su bomba de alimentación, compruebe que la presión de alimentación sea de 0.2 bares. 2.- Gire el eje de la bomba a 350 rpm y encender la caja de circuitos. Verificar que la tapa del habitáculo de seguridad se encuentre cerrada. 3.- Configure la señal de control de la válvula con una frecuencia de 180 Hz y un PWM del 85%; seguidamente de clic en cargar nueva señal. Verificar que el amperímetro muestre un valor de 1.23 ± 1 . 4.- Espere a que la señal de presión se estabilice y seleccione congelar gráfica. 5.- Arrastre los cursores, para que se muestre en el indicador el tiempo que le toma a la presión ir desde cero a 160 MPa. 6.- El tiempo no debe ser mayor a ----- 7.- Seleccione medir caudal y verifique que el caudal de consumo se encuentre por debajo de 40 l/h.	

Figura 3.30 Pasos para realizar la prueba de presión. Fuente: Autores.

El tiempo para esta prueba así como el resto de valores para las distintas pruebas serán expuestos más adelante luego de ejecutar las respectivas pruebas, así como su debida validación con un software apropiado.

3.5.2. Prueba de estanqueidad

- 1.- Encender el banco de pruebas, seguido de su bomba de alimentación, compruebe que la presión de alimentación sea de 0.2 bares.
- 2.- Gire la bomba a 200 rpm y encender la caja de circuitos. Verificar que la tapa del habitáculo de seguridad se encuentre cerrada.



Figura 3.31 Panel de control del banco de pruebas. Fuente: Autores.

- 3.- Ejecute el simulador y selecciones tanto la prueba como el vehículo al que pertenezca la bomba, luego configure la señal de control de la válvula con una frecuencia de 180 Hz y un PWM del 85%; seguidamente de clic en cargar nueva señal. Verificar que el amperímetro muestre un valor de 1.23 ± 1 .
 - 4.- Espere a que la señal de presión se estabilice y seleccione congelar gráfica.
 - 5.- Verifique que la señal se mantenga dentro del rango determinado para este vehículo.
 - 6.- Seleccione medir caudal y verifique que el caudal de consumo se encuentre por debajo de 40 l/h.
- A igual que la prueba de presión esta también se expone en la interfaz gráfica del simulador de la siguiente manera.

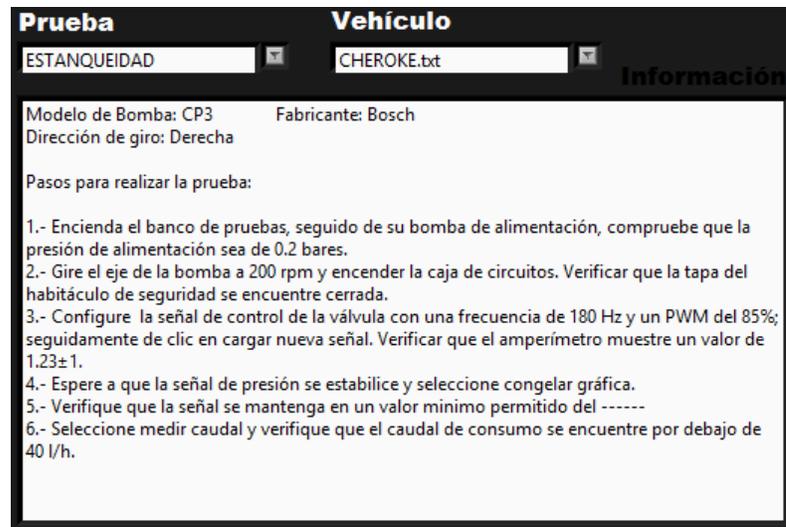


Figura 3.32 Pasos para realizar la prueba de estanqueidad. Fuente: Autores.

3.5.3. Prueba de caudal

Como se explicó en la descripción de la prueba, para la ejecución de esta es necesario realizar una medición del caudal consumido por la bomba durante la ejecución del resto de pruebas, para lo cual se debe seleccionar el botón de medir caudal y verificar que el caudal de consumo se encuentre por debajo de 40 l/h.



Figura 3.33 Botón para medición de caudal. Fuente: Autores.

3.6. EJECUCIÓN DE PRUEBAS

Ya obtenidos los parámetros para la ejecución de las pruebas, se procede a realizar las mismas en un número de 15 veces, tomando el valor necesario para cada prueba.

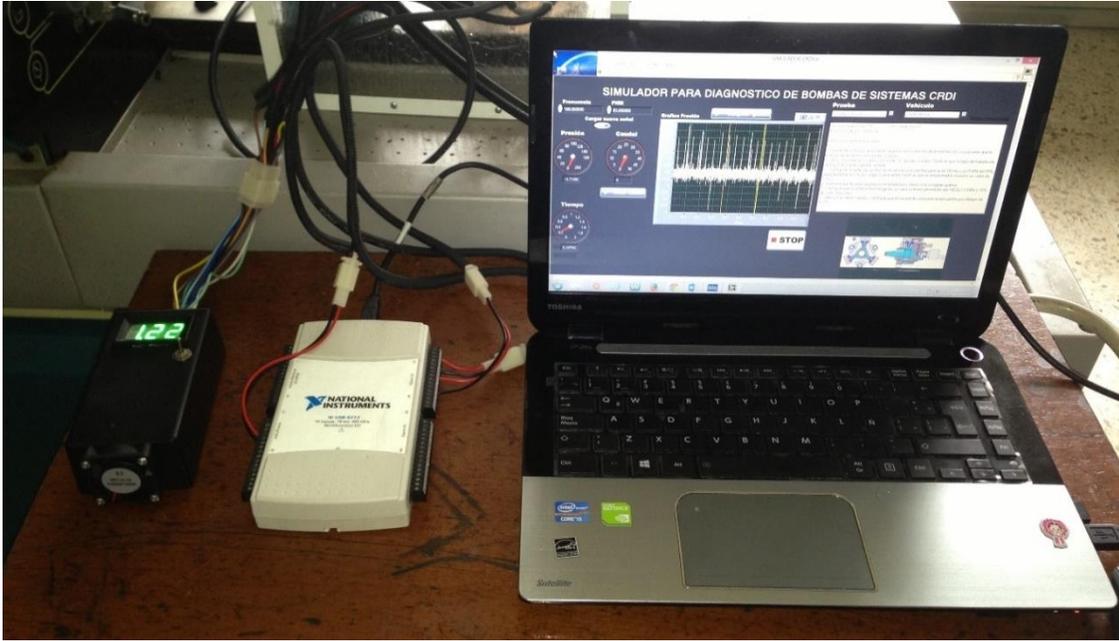


Figura 3.34 Fotografía de la ejecución de pruebas. Fuente: Autores.



Figura 3.35 Fotografía de la ejecución de pruebas 2. Fuente: Autores.

3.6.1. Prueba de presión

Para esta prueba se tomara el tiempo que le toma llegar a la bomba a su valor máximo, se toma 3 tiempos en cada prueba por lo que se obtiene 45 muestras.

A continuación se expone una captura de pantalla de la realización de la prueba de presión, el resto de capturas se expone en el anexo 1.

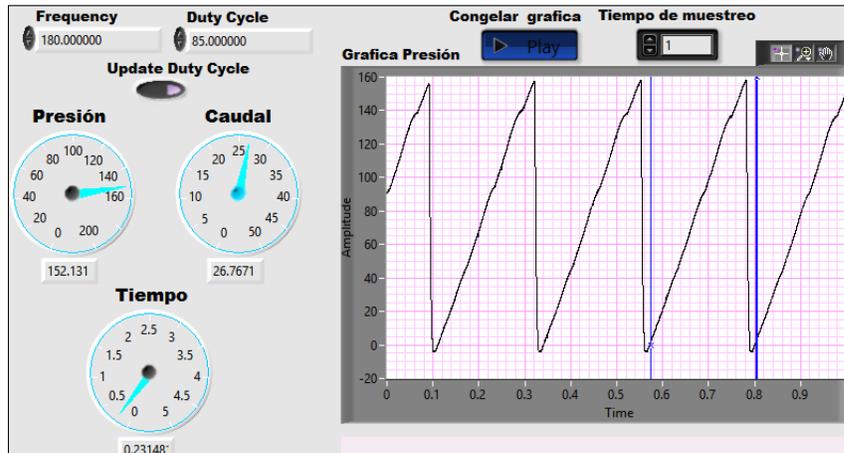


Figura 3.36 Captura de pantalla de la prueba de presión. Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos son los que se muestra a continuación

Tabla 3.7 Resultados de las pruebas de presión. Fuente: Autores.

	Tiempo1	Tiempo 2	Tiempo3
Prueba 1	0.229167	0.243056	0.224537
Prueba 2	0.282407	0.25463	0.25463
Prueba 3	0.236111	0.263889	0.231481
Prueba 4	0.226852	0.217593	0.212963
Prueba 5	0.212963	0.212963	0.215278
Prueba 6	0.226852	0.226852	0.231481
Prueba 7	0.210648	0.215278	0.212963
Prueba 8	0.231481	0.252315	0.219907
Prueba 9	0.217593	0.219907	0.215278
Prueba 10	0.256944	0.224537	0.217593
Prueba 11	0.231481	0.24537	0.233796
Prueba 12	0.24537	0.231481	0.226852
Prueba 13	0.259259	0.222222	0.259259
Prueba 14	0.268519	0.273148	0.263889
Prueba 15	0.247685	0.240741	0.236111

3.6.1.1. Análisis de resultados

Con la ayuda de un software de estadística se procede a realizar un análisis ANOVA de un solo factor desajustado, mediante comparaciones de Tukey con un nivel de confianza del 95% obteniendo los siguientes resultados.

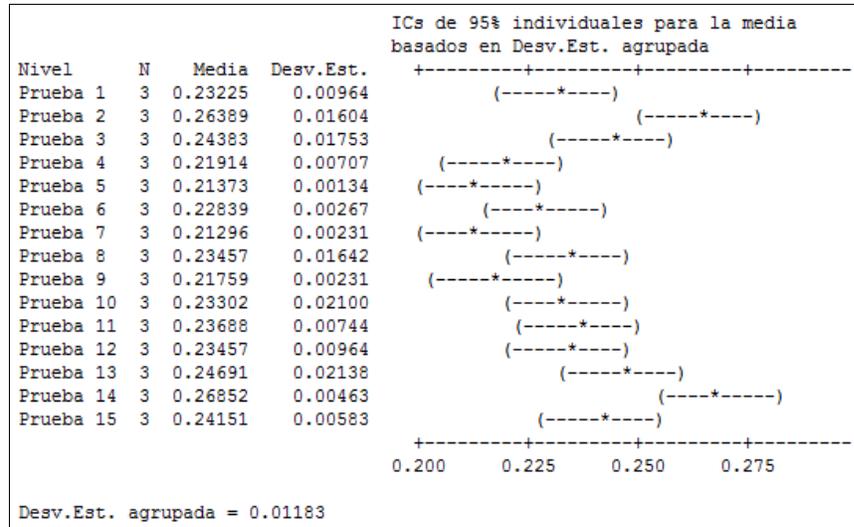


Figura 3.37 Análisis de los resultados de la prueba de presión. Fuente: Autores.

Obtener una desviación estándar del 0.01183 nos indica que las muestras en este caso el tiempo, son válidas esto acompañado con la conclusión propia del software la cual nos expone que las muestras tienen un nivel de confianza individual del 99.91%.

Por lo que se toma como válido el experimento de con los parámetros configurados, a continuación se determina el valor promedio de todas las muestras, que es de 0.2375 ± 0.0375 segundos.

Este último valor será introducido en la información de la prueba de presión, que se muestra en la interfaz gráfica del simulador obteniendo lo siguiente.

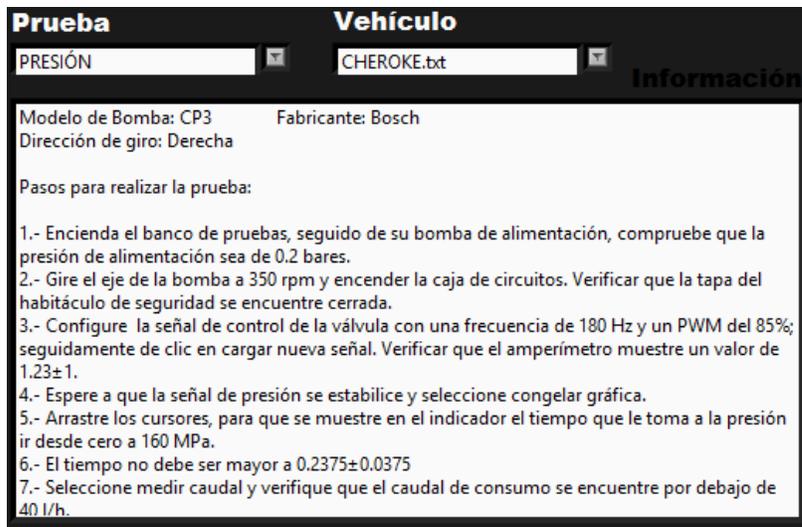


Figura 3.38 Pasos para realizar la prueba de presión 2. Fuente: Autores.

3.6.2. Prueba de estanqueidad

Esta prueba se la realizo 15 veces y se tomó 4 valores mínimos de cada prueba, para de esta manera determinar el porcentaje máximo en el que debe fluctuar la presión durante esta prueba. En total se tiene 60 muestras.

A continuación se expone una captura de pantalla correspondiente a una prueba de estanqueidad, el resto de capturas se exponen en el anexo de este proyecto.

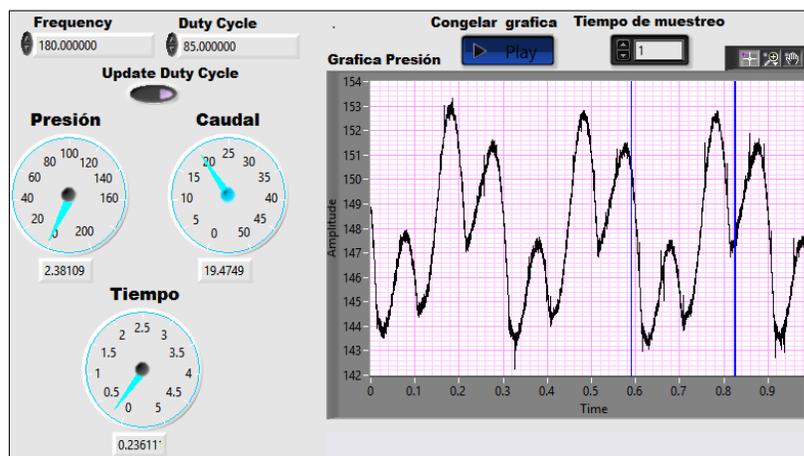


Figura 3.39 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad. Fuente: Autores.

Seguidamente se expone la tabla con los resultados obtenidos en cada prueba.

Tabla 3.8 Resultados de las pruebas de estanqueidad. **Fuente:** Autores.

	Valor mínimo 1	Valor mínimo 2	Valor mínimo 3	Valor mínimo 4
Prueba 1	144	143.8	143.6	143.8
Prueba 2	144	143.8	144.2	144
Prueba 3	144.8	144.1	144.2	144.2
Prueba 4	144.6	144.2	143.8	143.8
Prueba 5	144.2	144	144.2	144.2
Prueba 6	144.6	145.2	145.2	144.8
Prueba 7	145.8	146	145.8	145.8
Prueba 8	146	146	146	146.2
Prueba 9	145.8	145.2	145.4	145.4
Prueba 10	145	145.2	145	145.2
Prueba 11	145.2	145.2	145.2	145.4
Prueba 12	145.6	145.8	145.8	146
Prueba 13	146.6	146.6	146.6	147
Prueba 14	147	147	147	147
Prueba 15	147.4	147.2	147.4	147.2

3.6.2.1. Análisis de resultados

Se realiza el mismo análisis que en la prueba anterior, con lo que se obtiene los siguientes resultados.

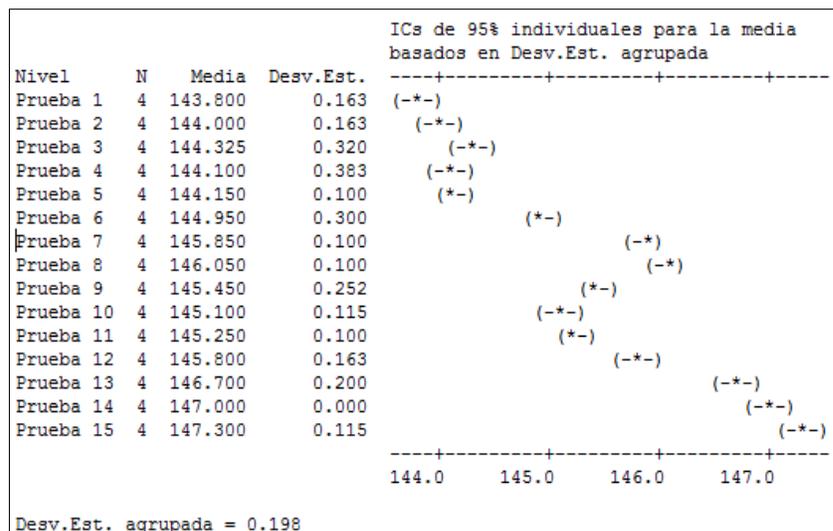


Figura 3.40 Análisis de los resultados de la prueba de estanqueidad. **Fuente:** Autores.

Al igual que la prueba anterior se obtiene una desviación estándar agrupada de 0.198, lo cual con el dato de nivel de confianza individual del 99.92% que indica el software, por lo que se toma como válido el experimento de con los parámetros configurados, a

continuación se determina el valor promedio de todas las muestras, que es de 145.5 ± 1.5 MPa.

Este último valor será introducido en la información de la prueba de estanqueidad, que se muestra en la interfaz gráfica del simulador obteniendo lo siguiente.

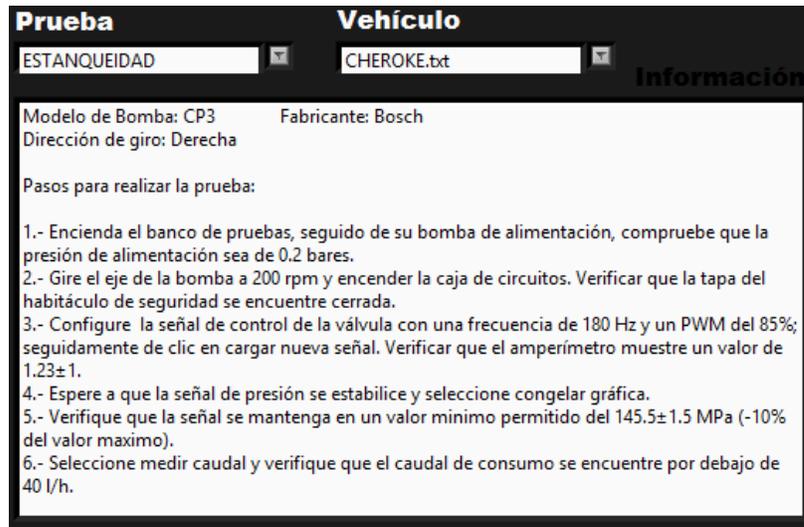


Figura 3.41 Pasos para realizar la prueba de estanqueidad 2. Fuente: Autores.

3.6.3. Prueba de caudal

Para las pruebas de caudal se procedió a realizar 5 veces, a distintas revoluciones tomando tres muestras por prueba, con lo que se obtiene 15 muestras. De esta manera mediante análisis se valida el dato obtenido

Las capturas de pantallas, así como las tablas y análisis de resultados se presentan a continuación.

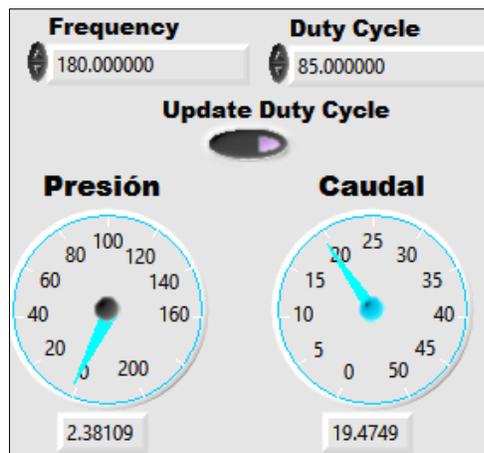


Figura 3.42 Captura de pantalla del caudal a 200 rpm. Fuente: Autores.

Tabla 3.9 Resultados de las pruebas de caudal a 200 rpm. **Fuente:** Autores.

	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3
Prueba 1	19.4749	19.3904	19.2571
Prueba 2	19.3608	19.4047	19.0949
Prueba 3	19.4829	19.2852	19.1775
Prueba 4	19.4501	19.3042	19.1511
Prueba 5	19.465	19.2192	19.0477

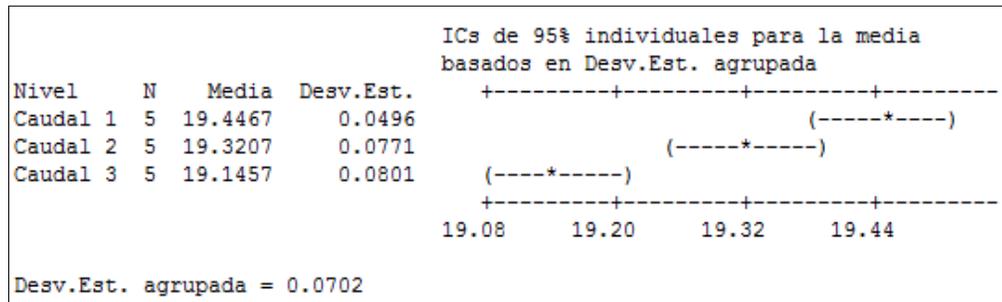


Figura 3.43 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 200 rpm. **Fuente:** Autores.

El nivel de confianza individual es del 97.94%, por lo que el experimento realizado es válido.

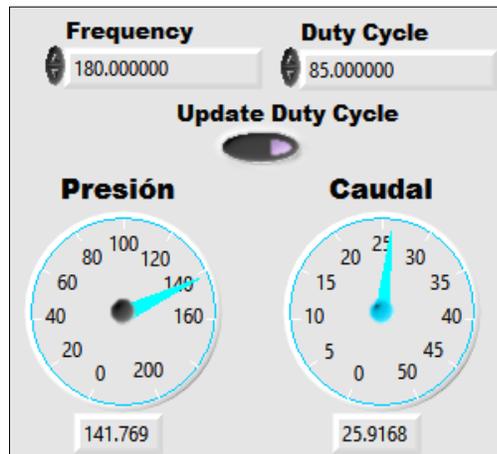


Figura 3.44 Captura de pantalla del caudal a 350 rpm. **Fuente:** Autores.

Tabla 3.10 Resultados de las pruebas de caudal a 350 rpm. **Fuente:** Autores.

	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3
Prueba 1	25.9168	26.2185	25.8977
Prueba 2	25.7122	26.2516	25.3605
Prueba 3	26.1414	26.167	25.7048
Prueba 4	26.7671	26.3085	25.4209
Prueba 5	26.4994	26.0804	25.5317

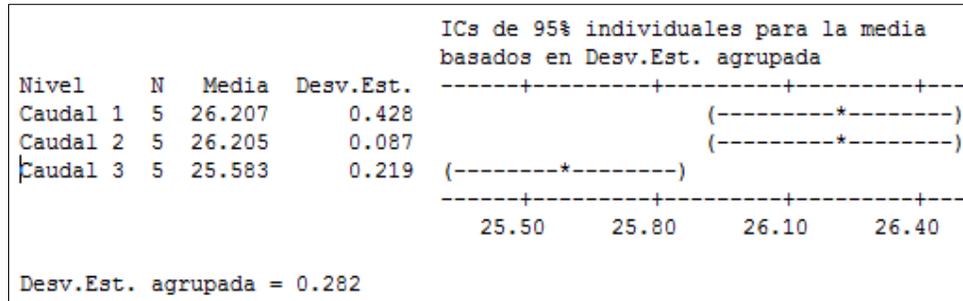


Figura 3.45 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 350 rpm. **Fuente:** Autores.

El nivel de confianza individual es del 97.94%, por lo que el experimento realizado es válido.

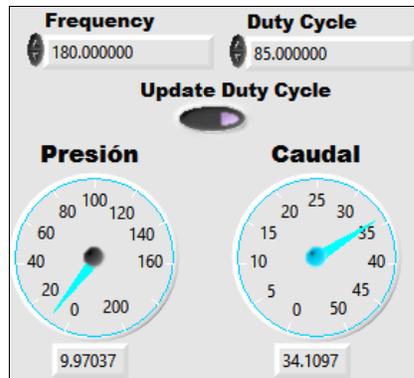


Figura 3.46 Captura de pantalla del caudal a 600 rpm. **Fuente:** Autores.

Tabla 3.11 Resultados de las pruebas de caudal a 600 rpm. **Fuente:** Autores.

	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3
Prueba 1	34.1097	35.7631	35.6211
Prueba 2	34.1862	35.9976	35.5567
Prueba 3	34.2916	35.7261	35.3485
Prueba 4	34.5806	35.5825	35.5737
Prueba 5	35.0292	35.5513	35.4408

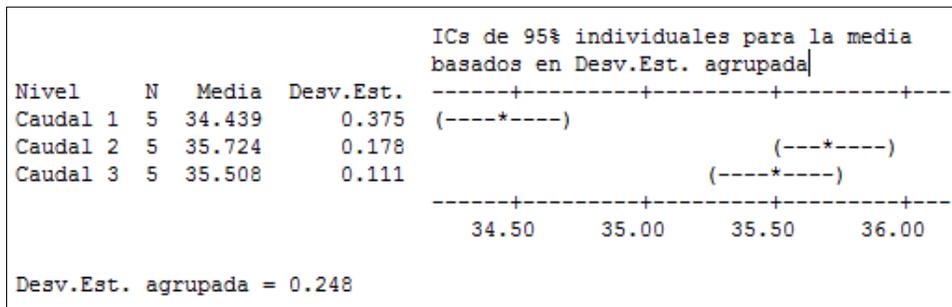


Figura 3.47 Análisis de los resultados de la prueba de caudal a 600 rpm. Fuente: Autores.

El nivel de confianza individual es del 97.94%, por lo que el experimento realizado es válido.

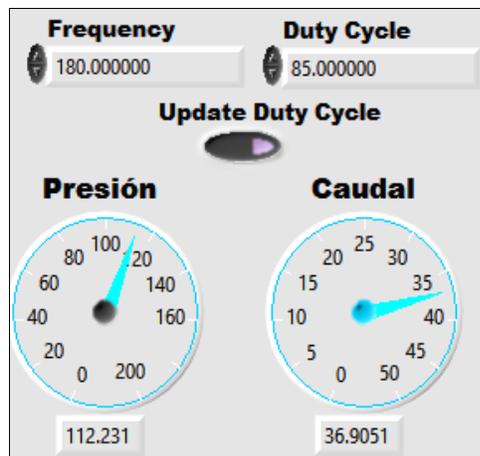


Figura 3.48 Captura de pantalla del caudal a 600 rpm. Fuente: Autores.

Tabla 3.12 Resultados de las pruebas de caudal a 1000 rpm. Fuente: Autores.

	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3
Prueba 1	36.9051	37.6662	39.0222
Prueba 2	36.5276	37.552	38.8794
Prueba 3	36.2322	37.9056	37.864
Prueba 4	37.5128	38.0928	37.6572
Prueba 5	37.4472	39.2088	37.9299

CONCLUSIONES

Luego de la investigación bibliográfica podemos concluir que el sistema CRDI abarca un campo de estudio muy amplio, pero la característica que marca la diferencia con el resto de sistemas es su gestión electrónica, ya que mediante la generación de pulsos electromagnéticos es posible controlar la alta presión generada por la bomba. Una bomba de alta presión de un sistema de riel común no necesita calibraciones mecánicas, la gestión electrónica es la encargada de mantener la presión constante, mediante el continuo sensado de la presión en el riel y con las correcciones acordes a la información proporcionada por el resto de sensores involucrados en el sistema.

Además con las investigaciones realizadas, se llegó a determinar que los sistemas de riel común presentes en el mercado ecuatoriano, son con control de presión por medio de una SCV, a su vez presentan dos tipos de válvulas, las NO (normalmente abierta) como en el caso de la bomba utilizada, así como las NC (normalmente cerrada), ambos tipos de válvulas cumplen el mismo trabajo, la variación radica en el momento de su regulación ya que las NC se regulan con la parte alta de la señal, mientras que las NO lo hacen con la parte baja de la señal.

Tras la información obtenida en las pruebas se determinó que el rango de control de la SCV, se amplía a medida que aumentan las revoluciones de la bomba; a bajas revoluciones, como las que se realizaron en las pruebas el rango, se encuentra entre el 85 al 90% de PWM.

Después de experimentar con varias opciones para la generación y recepción de señales se concluye que el uso de un software junto con una tarjeta de adquisición de datos, evita el diseño y fabricación de circuitos electrónicos avanzados, además proporcionan una visualización de las distintas señales a analizar, así como un mejor control de la señal de control de la SCV.

Al no poder elaborar una base de datos para realizar un análisis cuantitativo, se optó por un análisis cualitativo, de lo cual se obtuvo resultados con un nivel de confianza individual entre los 97 y 99%, lo cual es mayor al esperado que era del 90 %; tal como se expuso en el anteproyecto.

Luego de realizar las pruebas a la bomba con el simulador se puede discernir algunos diagnósticos, los cuales se exponen en la siguiente tabla:

Prueba	Valor	Resultado	Diagnóstico
Presión (tiempo de presurización)	Entre 0.2375 ± 0.0375 segundos	=	Buen estado
		≠	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda revisar el estado de los émbolos, cilindros y resortes de la bomba de alta presión. • Desmontar la SCV y comprobar su funcionamiento, verificando que abra o cierre el paso dependiendo de su configuración inicial. • Revisar las válvulas de sobrepresión de la bomba, estas deben permanecer completamente secas.
Estanqueidad (fluctuación máxima)	-10 %	≤	Buen estado
		>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar estado de las válvulas de admisión de combustible al embolo de alta presión. • Verificar estado de válvulas de salida del combustible hacia el riel (En ambos casos dar prioridad a los resortes).
Caudal (comparar valor)	Menor a 40 l/h	≤	Buen estado
		>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar estado de las válvulas de admisión de combustible al embolo de alta presión. El combustible puede estar desviándose al retorno. • Busque fugas en los acoples de la SCV y bomba de baja presión con la carcasa de la bomba.

RECOMENDACIONES

Para la realización de proyectos de este tipo, lo mejor opción para la adquisición de datos son las DAQ, ya que las mismas presentan un mejor muestreo, con respecto a otras que se encuentran en el mercado. Así como también se puede obtener directamente parámetros de las señales de entrada, como frecuencia, periodo, entre otras.

En caso de utilizar un contador para medir la frecuencia de una señal, no se debe utilizar las salidas de +5V con la que cuentan las DAQ's.

Para trabajos futuros se podría armar una base de datos, con diferentes a presiones correspondientes a las revoluciones del motor, y de esta manera realizar un análisis cuantitativo del estado de la bomba.

Todas las conexiones tanto hidráulicas como eléctricas se encuentran bien realizadas, de tal manera que cualquier estudiante u operador pueda ejecutar las pruebas sin embargo se recomienda siempre utilizar el equipo de protección personal durante la ejecución de las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Avance, «Auto Avance Asistencia en Tecnología Automotriz,» ADS , 25 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://www.autoavance.co>. [Último acceso: 16 Abril 2014].
- [2] DELPHI, Common Rail Manual Principles of Operations, Troy Míchigan, Estados Unidos, 2007.
- [3] J. M. Fustillo, «Programa Master Sistemas Common Rail,» Miami, 2006.
- [4] R. B. Ltda., Entrenamiento del Sistema Common Rail, 2002.
- [5] A. AG, Sistema de inyección Common Rail para el motor V8 TDI de 3,3 ltr. Diseño y funcionamiento, Germany, 1999.
- [6] Eurodiesel, «Eurodieselweb,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.eurodieselweb.com.ar/es/productos.html>. [Último acceso: 11 Septiembre 2014].
- [7] D. meganeboy, «Aficionados a la Mecanica,» 2014. [En línea]. Available: http://www.aficionadosalamecanica.net/common_rail4.htm. [Último acceso: 4 Septiembre 2014].
- [8] R. Bosch, «Regulacion Electrónica Diesel (EDC),» de *Sensores de presión Rail*, Stuttgart, Bosch, 2002, p. 25.
- [9] R. Bosch, Sistemas de inyección diesel por acumulador Common Rail, stuttgart: bosch, 2005.
- [10] D. Corporation, Manual de Servicio Common Rail System, Showa-cho, Kariya, Aichi Prefecture, Japón, 2004.
- [11] D. Corporation, Sistema de rampa común para NISSAN Motor de tipo YD1-K2, Showa-cho, Kariya, Aichi Prefecture, Japón: Denso Corporation , 2003.
- [12] D. A. LLP, «Delphi Automotive,» [En línea]. Available: <http://www.delphi.com/manufacturers/cv/powertrain/common-rail-systems/>.
- [13] F. Diesel, «Feather Diesel Limited,» [En línea]. Available: <http://www.feather->

diesel.co.uk/index.php.

- [14] A. Tokei, «Aichi Tokei Denki Co., ltd.» [En línea]. Available: https://www.aichitokei.co.jp/eng/products_and_services/micro_stream/zat.html. [Último acceso: 19 julio 2014].
- [15] I. L. Barros, «Banco de Pruebas Hatridge Pgm 10-12.,» Cuenca.
- [16] N. Instruments, DAQ M Series NI USB-621x User Manual, 2009.
- [17] «National Instruments,» [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207096>. [Último acceso: 13 Agosto 2014].
- [18] N. Instruments, «Wikipedia,» 3 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>. [Último acceso: 19 agosto 2014].
- [19] ARDUINO, «Arduino,» 2014. [En línea]. Available: <http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraduccion/Appendix3>.
- [20] E. d. E. T. S. Nicolas, «Escuela de Educacion Tecnica San Nicolas,» 5 30 2008. [En línea]. Available: <http://www.eet6sannicolas.edu.ar/biblioteca/alumnos/2%20polimodal/2do.%20A%F1o%20Electronica%20-%20TTP%20I%20-%20Caracter%EDsticas%20de%20las%20se%F1ales%20el%E9ctricas.pdf>. [Último acceso: 22 Septiembre 2014].

ANEXOS

ANEXO 1

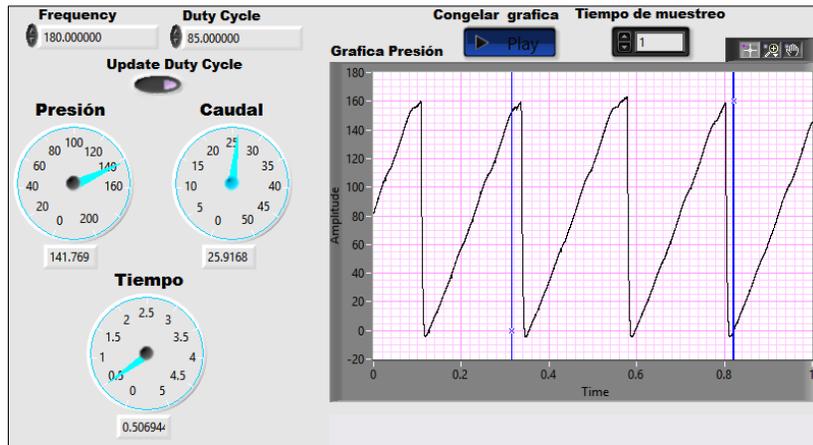


Figura 3.50 Captura de pantalla de la prueba de presión 2. Fuente: Autores.

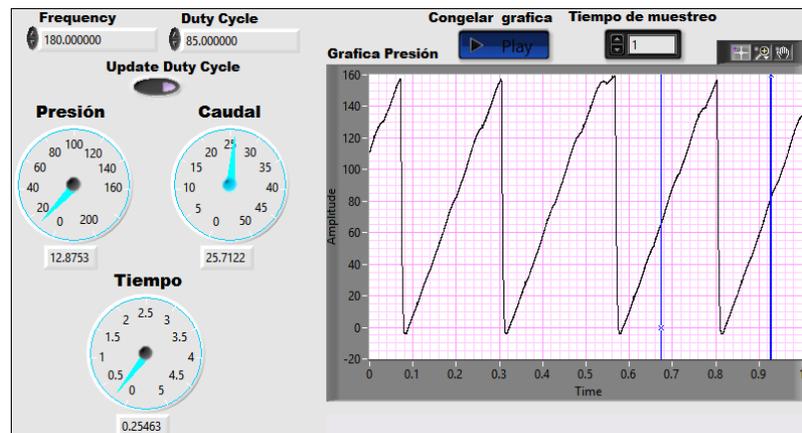


Figura 3.51 Captura de pantalla de la prueba de presión 3. Fuente: Autores.

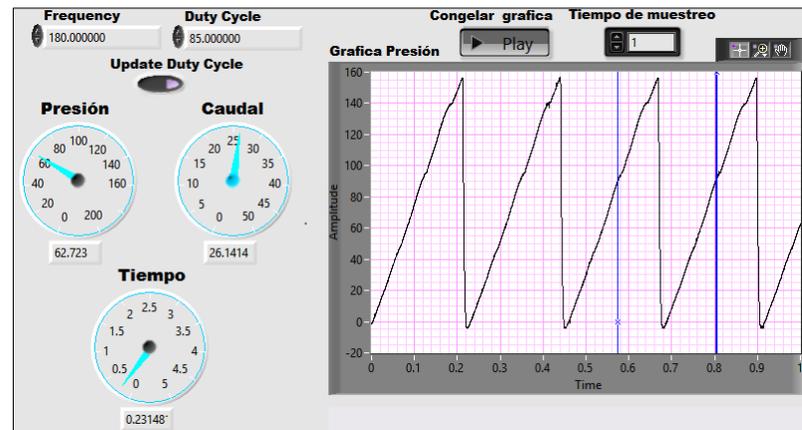


Figura 3.52 Captura de pantalla de la prueba de presión 4. Fuente: Autores.

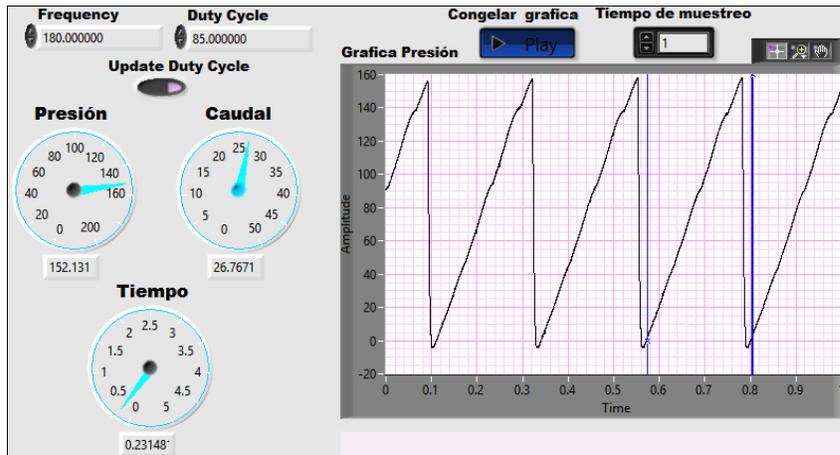


Figura 3.53 Captura de pantalla de la prueba de presión 5. Fuente: Autores.

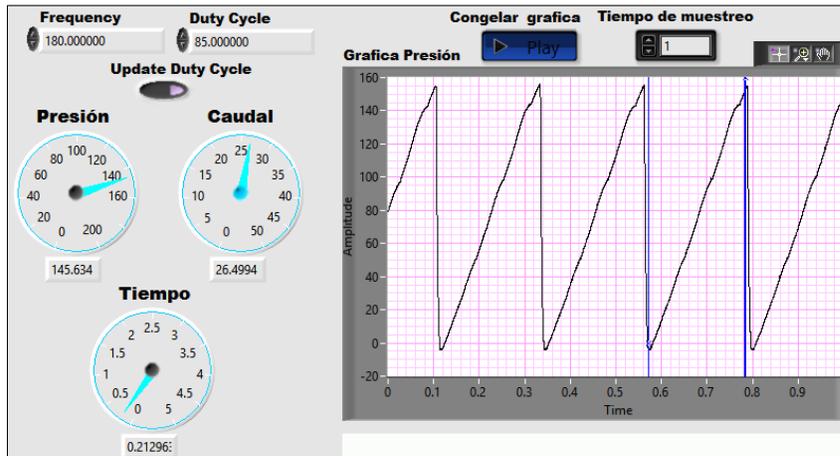


Figura 3.54 Captura de pantalla de la prueba de presión 6. Fuente: Autores.

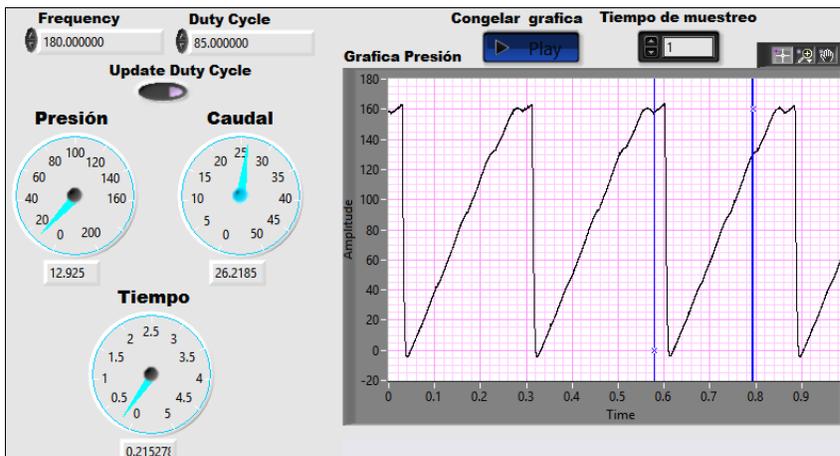


Figura 3.55 Captura de pantalla de la prueba de presión 7. Fuente: Autores.

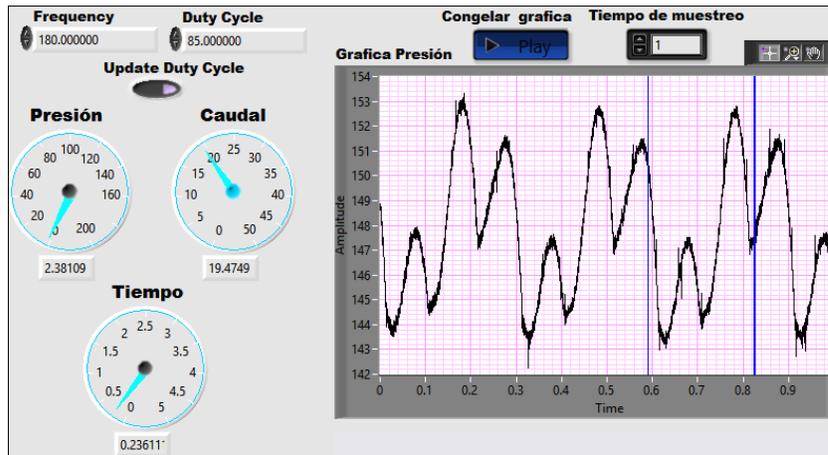


Figura 3.56 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 2. Fuente: Autores.

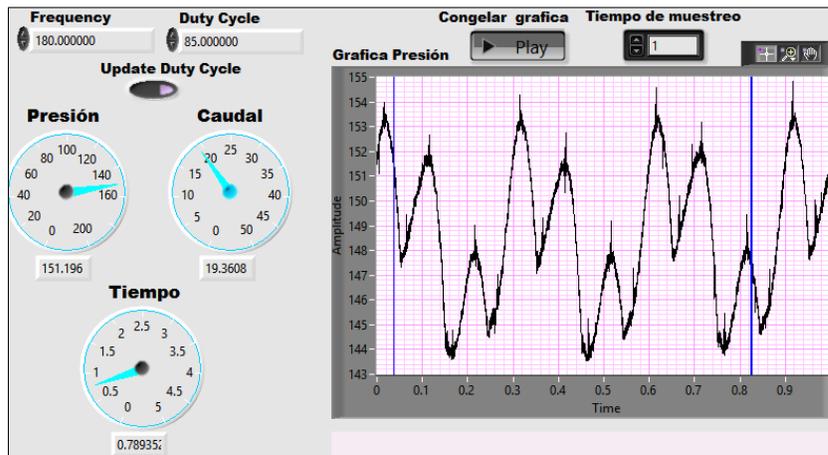


Figura 3.57 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 3. Fuente: Autores.

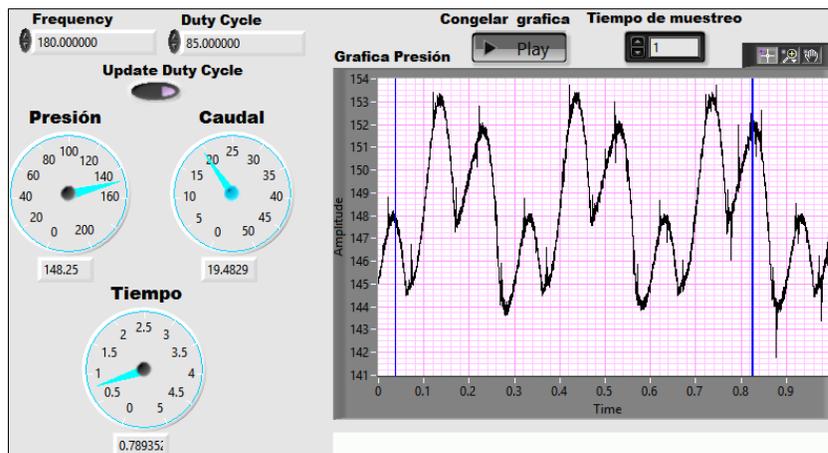


Figura 3.58 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 4. Fuente: Autores.

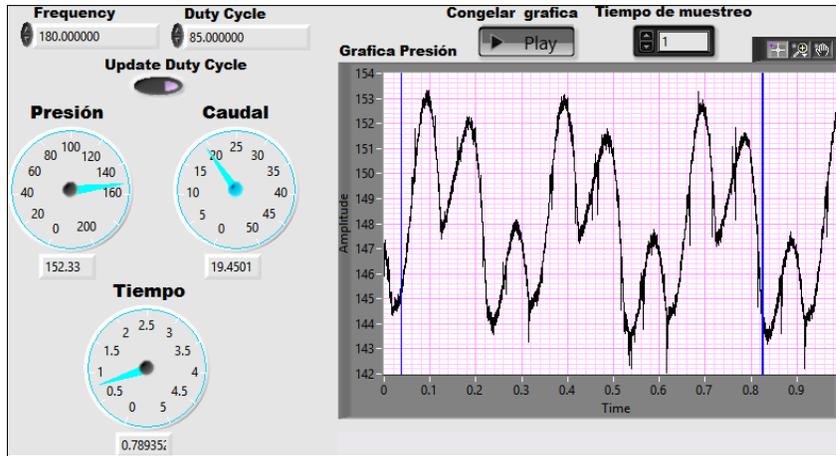


Figura 3.59 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 5. Fuente: Autores.

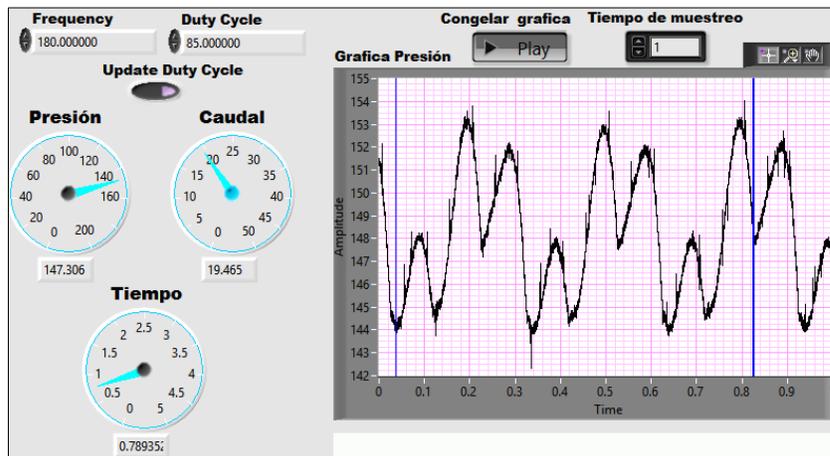


Figura 3.60 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 6. Fuente: Autores.

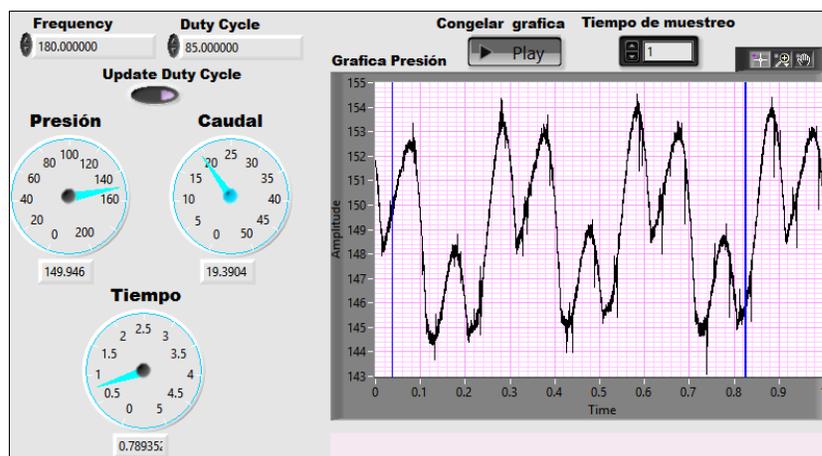


Figura 3.61 Captura de pantalla de la prueba de estanqueidad 7. Fuente: Autores.