



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**AUTORAS: CABASCANGO OÑA MAYRA GABRIELA
DÁVILA AUZ FRANCISCA PAMELA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR
DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON
VISUALIZACIÓN GRAFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS
DE UN OSCILOSCOPIO.**

DIRECTOR: ING. MENA LUIS

CODIRECTOR: ING. ERAZO GERMÁN

LATACUNGA, 2014



UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, **CABASCANGO OÑA MAYRA GABRIELA**

DÁVILA AUZ FRANCISCA PAMELA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON VISUALIZACIÓN GRAFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO**", ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Por lo que se podemos afirmar que este trabajo es de nuestra exclusiva autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, del 2014

Mayra Gabriela Cabascango O.
C.C. 100322160-1

Francisca Pamela Dávila A.
C.C. 100286075-5



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. LUIS MENA (DIRECTOR)

Ing. ERAZO GERMÁN (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO”**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas, en el reglamento de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Siendo este un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la enseñanza/aprendizaje y a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional por lo que si recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autoriza a MAYRA GABRIELA CABASCANGO OÑA Y FRANCISCA PAMELA DÁVILA AUZ que entregue al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, del 2014.

Ing. Luis Mena
DIRECTOR

Ing. Germán Erazo
CO DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotras, Mayra Gabriela Cabascango Oña
Francisca Pamela Dávila Auz

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, para que publique en la biblioteca virtual de la institución el trabajo denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO.”**, en el que se encuentra contenido, ideas y criterios que hemos desarrollado bajo nuestra exclusiva autoría.

Latacunga, del 2014

Mayra Gabriela Cabascango O.
C.C. 100322160-1

Francisca Pamela Dávila A.
C.C. 100286075-5

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por guiar mi camino, a mis padres Margarita y Cesar por ser mi ejemplo a seguir y por el inmenso amor y confianza que me han brindado día a día , a mis hermanos Criss, Oscarín y Sarita por su apoyo y cariño demostrado desde que me impuse esta meta.

A mi familia en especial a mis abuelitos por cuidarme en todo momento, a mi tía Lorena, a mi Eleni y a mi primo Iván por a verme ayudado y darme la mano cuando más lo necesite.

A todos mis amigos en especial Pameluchis por ser un ejemplo ya que nunca se dio por vencida y juntas logramos nuestra meta y Negrito por brindarme su amistad y por estar siempre a mi lado apoyándome en los momentos buenos y malos.

En especial a Dieguito Oña porque a pesar de las dificultades que presenta, con su alegría y ocurrencias ha logrado salir adelante demostrándonos que es un ejemplo a seguir.

Gaby C.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por ser guía en mi camino, por su infinito amor ya que gracias a él pude culminar con éxito la meta impuesta.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, su cariño y paciencia porque gracias a ellos pude lograr mi objetivo.

A toda mi familia y amigos por ser los pilares de mi vida y quienes siempre estarán a mi lado.

A la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE-L, por darme la oportunidad de cumplir mis metas.

A cada uno de los profesores que me guiaron y ayudaron incondicionalmente en especial Ing. Leónidas Quiroz, Ing. Germán Erazo, Ing. Luis Mena quienes me ayudaron para la culminación del presente proyecto.

Gaby C.

DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado y a mi Virgencita de las Lajas que llevo mucha devoción en mi alma, a mis padres Panchito y Yoli por haberme brindado su apoyo, confianza cariño, amor y dedicación en todo momento.

A mis hermanos Lenin e Isabel por su gran cariño demostrado durante este transcurso de mis estudios.

A mis dos adorables sobrinos Martin y Tomasito que son la alegría de mi vida.

A mi familia abuelitos, ti@s que son el ejemplo a seguir de superación y a mis amig@s por guiarme y acompañarme en todo momento les quiero muchísimo.

En especial a mi hija **MARTINA RAFAELA DAVILA AUZ** que es mi vida, felicidad, apoyo y mi compañerita para toda mi vida a ti mi amor que eres todo para mí.

Panchita Dávila

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios que siempre camina a mi lado y guía mis pasos, a mis Padres, a mis hermanos, mis sobrinos y en especial a mi hija Martina los cuales día a día llenan mi vida de amor, apoyo y comprensión ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A mis maestros, quienes han compartido de manera generosa sus conocimientos, fortaleciéndome para lograr alcanzar mi formación académica y de esta manera llegar a triunfar en lo que de hoy en adelante será mi vida profesional.

Al Ing. Leónidas Quiroz por compartir sus conocimientos y colaborar en la elaboración de nuestra tesis, al igual que al Ing. German Erazo por su gran colaboración y paciencia, al Ing. Luis Mena por su ayuda incondicional.

También agradecer a Gaby mi amiga que siempre ha estado a mi lado en todo momento para ayudarme y darme su cariño GRACIAS MIJI.

Panchita Dávila

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
CERTIFICADO.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xviii
RESUMEN.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. ÁREA DE INFLUENCIA.	4
1.6. HIPÓTESIS	5
1.7. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	5

1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	5
1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	6
CAPÍTULO II.....	7
SISTEMAS DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN.....	7
2.1. INTRODUCCIÓN.....	7
2.2. SISTEMA DE COMBUSTIBLE	8
2.3. ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	8
2.4. SISTEMA DE INYECCIÓN RIEL COMÚN BOSCH.....	9
2.5. COMPORTAMIENTO DE INYECCIÓN RIEL COMÚN.....	11
2.6. INYECCIÓN PREVIA	12
2.7. INYECCIÓN PRINCIPAL.....	13
2.8. CRDI (COMMON RAIL DIRECT INJECTION) O SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE RIEL COMÚN	14
2.8.1. CDTi.....	14
2.8.2. JTD.....	14
2.8.3. MultiJet	15
2.8.4. MultiJet II.....	16
2.9. MARCAS	17
2.9.1. BOSCH.....	17
2.9.2. SIEMENS.....	18
2.9.3. DELPHI	19
2.9.4. DENSO.....	20
2.10. RIEL.	21
2.11. INYECTORES.	22

2.11.1.	FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS	22
2.11.2.	EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO PIEZOELÉCTRICO	24
2.11.3.	INYECTOR CERRADO (ESTADO DE REPOSO)	26
2.11.4.	EL INYECTOR ABRE (COMIENZO DE LA INYECCIÓN)	27
2.11.5.	INYECTOR TOTALMENTE ABIERTO	28
2.11.6.	EL INYECTOR CIERRA (FINAL DE INYECCIÓN)	29
2.12.	INYECTOR PIEZOELÉCTRICO	30
2.12.1.	ACTUADOR PIEZOELÉCTRICO	31
2.12.2.	CONTROL DE LOS INYECTORES	31
2.12.3.	DESARROLLO Y PRODUCCIÓN BOSCH	32
2.12.4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS INYECTORES BOSCH	33
2.12.5.	Proceso de remplazo de aguja inyectora BOSCH	33
2.13.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.	34
2.13.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	34
CAPÍTULO III.....		36
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR DE PULSOS PARA INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS		36
3.1.	REQUERIMIENTOS:.....	36
3.2.	DISEÑO MECÁNICO.....	37
3.2.1	PARÁMETROS DE DISEÑO	37
3.2.2	DETERMINACIÓN DE CARGAS.....	37
3.3.	MODELADO Y ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS	42
3.3.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE	42
3.4.	DISEÑO HIDRÁULICO.....	47
3.4.1	CREACIÓN DEL PROYECTO EN FLOW SIMULATION	47

3.4.2	RESULTADOS.....	51
3.5.	PARÁMETROS CONSIDERADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR PIEZO ELÉCTRICO	53
3.5.1	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	53
3.5.2	PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	53
3.6.	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SIMULADOR	54
3.6.1	GENERALIDADES.....	54
3.6.2	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO.....	54
3.6.3	ENSAMBLE DE LA BOMBA MANUAL.....	56
3.7	DISEÑO ELÉCTRICO	57
3.7.1	DEFINICIÓN DE ELECTRÓNICA.....	57
3.7.2	CONVERTIDORES DC A DC:	58
3.7.3	TIPOS DE CONVERTIDORES DC-DC	59
3.8	ELECTRÓNICA PROGRAMABLE	61
3.8.1	PLATAFORMA ARDUINO	62
3.8.2	DISEÑO DE HARDWARE:	63
3.9	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL SIMULADOR DE PULSOS.....	63
3.9.1	PLACA DE SOPORTE LCD20X4:.....	72
3.9.2	PLACA DRIVER DE POTENCIA	73
3.9.3	FUENTES DE PODER (FUENTE SWITCHING PARA PC).....	77
3.9.4	LISTA DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	78
3.9.5	SIMULADOR DE PRUEBAS DE INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS	82
	CAPÍTULO IV	84

PROCEDIMIENTO, FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DEL SIMULADOR	84
4.1 PROCEDIMIENTOS.....	84
4.2 GUIA DE PRÁCTICA.....	85
CAPÍTULO V	94
MARCO ADMINISTRATIVO	94
5.1. RECURSOS.....	94
5.1.1. RECURSOS HUMANOS.....	94
5.1.2. RECURSOS TECNOLÓGICOS.....	95
5.1.3. RECURSOS MATERIALES.....	95
5.1.4. PRESUPUESTO.....	96
1.5.6 CRONOGRAMA	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 99 -
CONCLUSIONES:	- 99 -
RECOMENDACIONES:.....	- 100 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 101 -
NETGRAFÍA	- 101 -
ANEXOS.....	- 103 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Operacionalización de variables independientes.....	5
Tabla 1.2: Operacionalización de variables dependientes.....	6
Tabla 3.1: Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36.....	43
Tabla 3.2: Parámetros de funcionamiento sistema hidráulico	53
Tabla 3.3: Parámetros de funcionamiento del inyector piezoeléctrico	53
Tabla 3.4: Parámetros de funcionamiento del driver de potencia	54
Tabla 3.5: Características del diodo Opto acoplador.....	68
Tabla 3.6: Para la placa de control se utilizaron	78
Tabla 3.7: Elementos placa plataforma Arduino	78
Tabla 3.8: Elementos placa acoplador de driver de potencia	78
Tabla 3.9: Elementos placa de potencia	79
Tabla 5.1: Recursos Humanos.....	94
Tabla 5.2: Recursos tecnológicos.	95
Tabla 5.3: Recursos materiales.	96
Tabla 5.4: Presupuesto.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Árbol del problema.....	1
Figura 2.1: Mapa de bloque sistema de combustible riel comun.....	8
Figura 2.2: Diagrama de alimentación del combustible.....	9
Figura 2.3: Sistema inyección Bosch.....	10
Figura 2.4: Inyección convencional. Vs Riel Común.....	12
Figura 2.5: Desarrollo de presión sin inyección previa.....	13
Figura 2.6: Sistema CR BOSCH.....	17
Figura 2.7: CRS3 con 1800 a 2000 bar y piezo inyectores.....	18
Figura 2.8: CR SIEMES.....	19
Figura 2.9: CR DELPHI.....	20
Figura 2.10: CR DENSO.....	21
Figura 2.11: Rail de alta presión de CRS BOSCH.....	22
Figura 2.12: De inyectores piezoeléctricos.....	23
Figura 2.13: Relación corriente voltaje y desplazamiento.....	24
Figura 2.14: Fenómeno piezoeléctrico.....	25
Figura 2.15: Bornes de conexión.....	25
Figura 2.16: Inyector en reposo.....	27
Figura 2.17: Fuerzas que actúan en el inyector.....	27
Figura 2.18: El inyector abre (comienzo de la inyección).....	28
Figura 2.19: Inyector Abierto.....	29
Figura 2.20: Inyector cerrado.....	29
Figura 2.21: Inyector piezoeléctrico.....	30
Figura 2.22: Actuador piezoeléctrico.....	31
Figura 2.23: Impulso de inyección.....	32
Figura 2.24: Inyectores BOSCH.....	32
Figura 2.25: Reemplazo de aguja inyectora BOSCH.....	33
Figura 2.26: Diagrama del Sistema " Riel Común".....	35
Figura 3.1: Bomba manual del banco de pruebas de inyectores.....	38
Figura 3.2: Fuerza requerida en la palanca.....	39

Figura 3.3: Diagrama del cuerpo libre de la palanca.....	40
Figura 3.4: Análisis de fuerzas en la estructura soporte.....	41
Figura 3.5: Ensamblaje completo del banco de pruebas.....	42
Figura 3.6: Asignación de cargas y sujeciones.....	43
Figura 3.7: Tensión de Von Mises en la estructura soporte.....	44
Figura 3.8: Desplazamientos resultantes en la estructura soporte.....	45
Figura 3.9: Distribución del factor de seguridad en la estructura soporte.....	46
Figura 3.10: Configuración inicial del proyecto.....	47
Figura 3.11: Selección del sistema de unidades.....	48
Figura 3.12: Ventana para la selección del tipo de análisis.....	48
Figura 3.13: Selección del tipo de fluido.....	49
Figura 3.14: Configuración de las condiciones iniciales.....	49
Figura 3.15: Configuración de la geometría y el tamaño del mallado.....	50
Figura 3.16: Diagrama de presión total.....	51
Figura 3.17: Distribución de velocidades.....	52
Figura 3.18: Corte y soldado de la estructura.....	55
Figura 3.19: Armado de la estructura parte superior.....	55
Figura 3.20: Pintado y terminado del banco.....	56
Figura 3.21: Elementos internos de la bomba.....	56
Figura 3.22: Ensamble de la bomba.....	57
Figura 3.23: Convertidor DC-DC.....	58
Figura 3.24: Convertidor Buck.....	59
Figura 3.25: Convertidor Boost.....	60
Figura 3.26: Convertidor Buck-Boost.....	61
Figura 3.27: Placa plataforma Arduino.....	62
Figura 3.28: Esquema led orto acoplador.....	63
Figura 3.29: Esquema transistor Darlington.....	67
Figura 3.30: Características del diodo Opto acoplador.....	67
Figura 3.31: Fuente de alimentación y filtro.....	68
Figura 3.32: Conectores para los botones de manipulación.....	69
Figura 3.33: Diagrama eléctrico de conexiones.....	69

Figura 3.34: Esquema eléctrico de conexiones de LCD20x4.	70
Figura 3.35: Diagrama de conexiones de los leds de estado.	71
Figura 3.36: Diagrama de conexiones Arduino mega 2560.	71
Figura 3.37: Diagrama de conexiones del adaptador.	72
Figura 3.38: Diagrama de la etapa de potencia.	73
Figura 3.39: Placa de control.....	74
Figura 3.40: Esquema del transistor mosfets	75
Figura 3.41: Circulación corriente desde la fuente hacia el inyector.	76
Figura 3.42: Descarga del inyector para generar la inyección.	76
Figura 3.43: Fuente de pc con voltajes de 3v, 5v, 12v,-12v.....	77
Figura 3.44: Placa de circuito impreso de control.....	79
Figura 3.45: Placa del adaptador para LCD de 20x4	80
Figura 3.46: Placa de circuito impreso del driver de potencia.	80
Figura 3.47: Impresión del circuito en baquelita.	81
Figura 3.48: Ensamble de los circuitos eléctricos.....	81
Figura 3.49: Esquema del simulador	82
Figura 3.50: Esquema del control del simulador.....	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1: Máxima presión de inyección	38
Ecuación 3.2: Fuerza generada en el pistón de bombeo	38
Ecuación 3.3: Fuerza generadas en la palanca	39
Ecuación 3.4: Reacción en el pasador de la palanca.....	39
Ecuación 3.5: Reacciones en la estructura soporte sumatoria en A	40
Ecuación 3.6: Reacciones en la estructura soporte sumatoria en B	41
Ecuación 3.7: Cálculo de corriente	64
Ecuación 3.8: Tensión total β Darlington.....	65
Ecuación 3.9: Voltaje total base-emisor	66

RESUMEN

Los avances tecnológicos relacionados con motores diesel y sus sistemas están en constante actualización, se realiza una investigación para obtener un equipo de simulación y prueba de inyectores diesel piezoeléctricos a fin de motivar el desarrollo de prácticas que fortalezcan las competencias profesionales de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz y profesionales afines. Se construye el simulador de pruebas para inyectores diesel piezoeléctricos con visualización gráfica de señales operativas a través de un osciloscopio. Esta aplicación permite que los inyectores piezoeléctricos operen en condiciones de funcionamiento reales: estanqueidad, pulverización, apertura electrónica del inyector. Se diseñó la estructura mecánica del equipo en el programa SolidWorks (2014), implementando el circuito eléctrico y electrónico de control y potencia a través de la interfaz Arduino, para generar los pulsos para la apertura y cierre del inyector. El accionamiento y elevación de presión es de tipo mecánico que proporcionan los valores de operación necesaria para la pulverización del diesel a través del inyector. Los resultados obtenidos como los niveles de entrega y retorno permiten diagnosticar eficientemente el estado de inyectores usados en sistemas CRDI con las gráficas eléctricas obtenidas a través de un osciloscopio.

Palabras clave: Ingeniería, Inyector piezoeléctrico, CRDI, pulsos.

ABSTRACT

Technological advances related to diesel engines and their systems are constantly updated, an investigation was performed to obtain a computer simulation and testing of diesel piezo injectors to motivate develops practices that strengthen the professional skills of the students studying Automotive Engineering and related professionals. Simulator tests for diesel piezoelectric injectors graphically display operating signals through an oscilloscope is constructed. This application allows the piezo injectors operating in actual operating conditions: sealing, spray, electronic injector opening. The mechanical structure of the machine on SolidWorks (2014) program design, implementing and electronic circuit control and power through the Arduino interface to generate pulses for the opening and closing of the injector. The drive and pressure rise is mechanical giving the values necessary for operation of the diesel spray through the nozzle. The results obtained and the levels of delivery and return efficiently diagnose allow state CRDI injectors used in the electrical systems with graphics obtained through an oscilloscope.

Keywords: Engineering, piezoelectric injector, CRDI, pulses.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La incursión de nuevas tecnologías ha permitido que los avances tecnológicos relacionados con motores diesel y sus sistemas estén en constante actualización es por esto que se construyó un simulador de inyectores diesel piezoeléctricos, que fortalecerá las competencias profesionales de los futuros ingenieros automotrices.

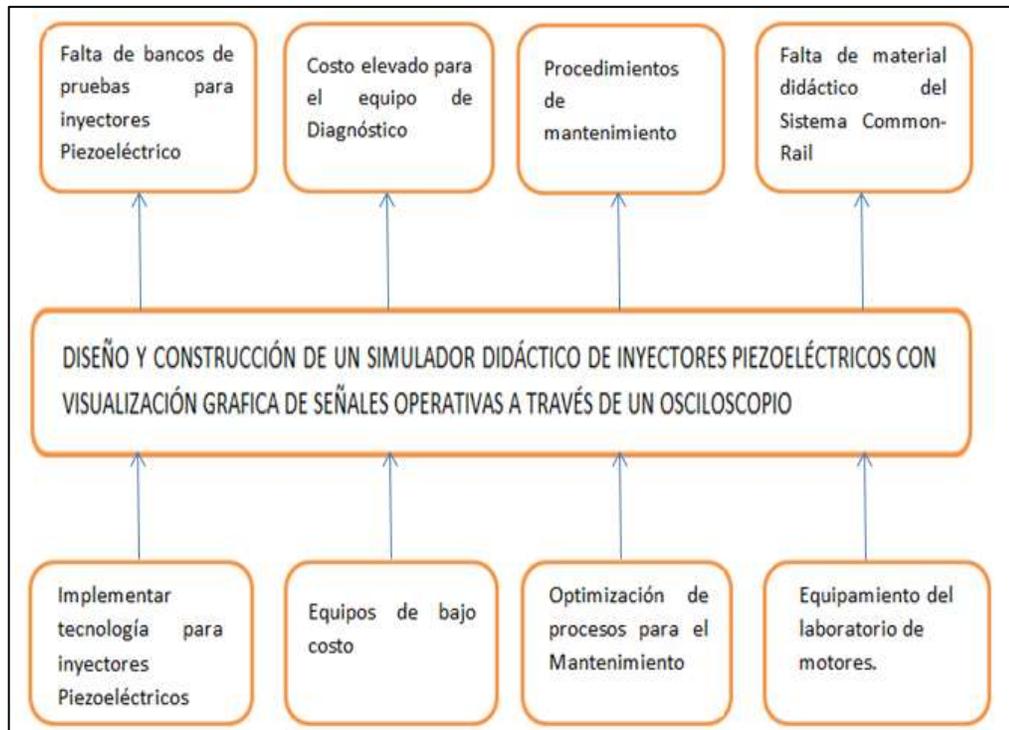


Figura 1.1: Árbol del problema

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los bancos de pruebas para sistemas riel común se encargan de cualificar y cuantificar el estado técnico funcional del sistema, realizando ensayos como: la medición de la entrega de caudal de inyección y de retorno a cada cilindro a cualquier velocidad, la comprobación y ajuste del regulador mecánico, comprobación y ajuste de la bomba del distribuidor, experimentación y regulación de la conducta de la sobrealimentación y el dispositivo de compensación, prueba de la válvula electromagnética de la bomba del distribuidor (12V/24V), medición de la presión interna de la bomba del distribuidor, comprobación del ángulo de avance del dispositivo de avance, comprobación de los sensores de presión, existe control total de la presión del fluido durante las pruebas, etc. todo esto en general permitiendo encontrar averías en los diferentes componentes.

El alto costo de los bancos de prueba en Ecuador oscila entre \$3500 y \$9000; La demanda de los técnicos automotrices en el diagnóstico del Sistema de alimentación Riel Común nos encamina al análisis del desarrollo de un banco de pruebas, con el fin de abaratar costos de producción para el Banco de Pruebas en algunos elementos sustituibles en él, esto partiendo de teorías de su funcionamiento y trabajo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador según cifras de la AEADE, entre los años 2012 y 2013 las ventas de camiones y buses representan del 10 al 12% total del parque automotor comercializado, de lo cual tenemos que el 100% de la muestra tomada del Transporte Público del Distrito Metropolitano de Quito utiliza el sistema de alimentación Riel Común, según Cárdenas E. (2006), en la “Investigación de la Caracterización Tecnológica del Parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito y Propuesta para la reforma de la normativa

ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres, desde la aparición de este sistema en 1986 cada vez son más los vehículos que lo tienen incorporado, ya que cumplen con normativas ambientales relativamente aceptables como la norma NTE INEN 2 207:2000 en nuestro país, que nos indica los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel; en el mercado ecuatoriano no hay equipos asequibles económicamente para diagnosticar las fallas de estos inyectores”.

En su mayor parte, los sistemas de alimentación tradicionales, han sido sustituidos por métodos relevantes como el Riel Común siendo estos la respuesta al problema de alto consumo de combustible en motores de combustión interna y mayor contaminación. El sistema alimentación Riel Común perfila en solución de mejorar las normas de emisión, ya que permite un mejor rendimiento de la combustible en los automóviles.

Coral F. (2008). "El sistema Riel Común ha mejorado el rendimiento del motor hasta en un 25%, y además disminuye el ruido del motor en un 40%. Estos motores obtienen mayor desempeño con un desarrollo óptimo, y una eficiencia mucho mayor por el aumento de la presión en el diseño de Riel Común.”

Todos los estudios de los sistemas de inyección directa en los vehículos a diesel, nos direcciona al análisis, desarrollo y estudio técnico de banco de pruebas o equipo de comprobación adecuada para sistemas Riel Común, obteniendo así un diagnóstico técnico, con datos óptimos y a menor costo.

Los motores con sistema de alimentación Riel Común requieren de un muy corto o ningún tiempo de calentamiento en absoluto en comparación con otros sistemas, depende de la temperatura ambiente, y producen menos ruido del motor y emisiones que los sistemas más antiguos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

“Diseñar y construir un simulador didáctico de inyectores diesel piezoeléctricos con visualización gráfica de señales operativas a través de un osciloscopio para realizar el diagnóstico efectivo de estos componentes”

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar elementos eléctricos, electrónicos, para aplicar a un generador de pulsos.
- Seleccionar el sistema hidráulico y mecánico para aplicar un generador de presión.
- Diseñar el sistema de control y potencia para las aplicaciones del simulador.
- Elaborar el manual de usuario, manual de mantenimiento y guía de laboratorio.
- Aplicar las condiciones de operación del simulador para diagnosticar la función de curvas del inyector piezoeléctrico.

1.5. ÁREA DE INFLUENCIA.

- **Provincia:** Cotopaxi
- **Cantón:** Latacunga
- **Parroquia:** Matriz
- **Departamento:** Energía y Mecánica
- **Laboratorio de:** Motores Diesel

1.6. HIPÓTESIS

¿El diseño y construcción de un simulador de pruebas de inyectores diésel piezoeléctricos con visualización grafica de señales operativas a través del osciloscopio, permitirá realizar pruebas de pulverización, estanqueidad, presión y retorno para diagnosticar el estado de operación de estos componentes?

1.7. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Simulador didáctico de inyectores diesel piezoeléctrico

1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Diagnóstico efectivo de de inyectores piezoeléctricos.

1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Simulador didáctico de inyectores diesel piezoeléctrico

Tabla 1.1: Operacionalización de variables independientes.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Equipo de pruebas para verificación de caudal, retorno, pulverización para inyectores piezoeléctricos del sistema CRDi	<ul style="list-style-type: none"> Técnica Académica Tecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> Componentes mecánicos ≥ 3. Componentes del sistema de Control Potencia ≥ 2 Tensiones de operación ≥ 3 	<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuántos componentes consta el sistema mecánico del simulador? ¿Cuántos componentes intervienen en el sistema eléctrico? ¿Qué valores de operación intervienen en el banco?

1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Diagnóstico efectivo de de inyectores piezoeléctricos.

Tabla 1.2: Operacionalización de variables dependientes.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Pruebas de verificación de Caudal, corriente, retorno, consumo y voltaje, grafica implementada en inyectores piezoeléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica • Académica • Tecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas tipo mecánico ≥ 3 • Verificación electrónica ≥ 2 • Gráficas desplegadas /corriente ≥ 2 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué pruebas de se realizaran en el banco? • ¿Qué verificaciones hay en el sistema eléctrico? • ¿Qué parámetros se toma en cuenta ?

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN

2.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, casi todos los automóviles nuevos fabricados en Europa con motor diésel incorporan riel común identificados bajo distintas siglas según el fabricante (CRDI, CDTI, HDI, JTD, DCI, DTI, HDiTDCI, actualmente se empieza a incorporar en todos los TDI).

Bosch, Siemens, Delphi y Denso son los fabricantes más importantes de estos sistemas. Entre los sistemas mencionados existen diferencias considerables en cuanto a la regulación de la presión y el funcionamiento eléctrico de los inyectores, pero básicamente se rigen por la misma forma de trabajo mecánico.

(Castro, 2008) “Los automóviles comercializados por disponen de una variante más sofisticada del sistema riel común denominada MultiJet. Esta tecnología desarrollada y patentada por Magneti Marelli permite un mejor control de la mezcla con hasta cinco inyecciones diferentes por ciclo, lo que conlleva mejoras en los consumos, prestaciones y menor impacto ambiental.”

En 2009 se comenzaron a comercializar automóviles con MULTIJET II, una segunda versión de este sistema con hasta 8 inyecciones, mejorando todos los parámetros de la anterior y sin tener que recurrir a filtros de partículas de escape, como en la gran mayoría del resto de marcas automotrices.

2.2. SISTEMA DE COMBUSTIBLE

(Sánchez, 2008) “El combustible a alta presión generado por la bomba de suministro va desde el raíl común y es distribuido a cada cilindro. El inicio y final de la inyección es controlado por la apertura o cierre de la válvula de aguja de la tobera, usando una válvula electro magnética ubicada dentro del inyector.”

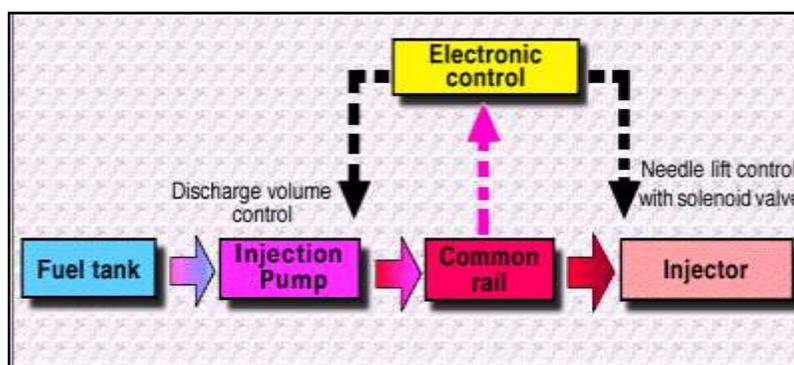


Figura 2.1: Mapa de bloque sistema de combustible riel común

Fuente: Manual Motores Diesel

2.3. ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

(Bosch, 2003) “La bomba de combustible va situada en el depósito. Trabaja como bomba de preelevación y se encarga de alimentar a la bomba de engranajes que va integrada en la bomba de alta presión, para que en cualquier estado operativo reciba suficiente combustible.”

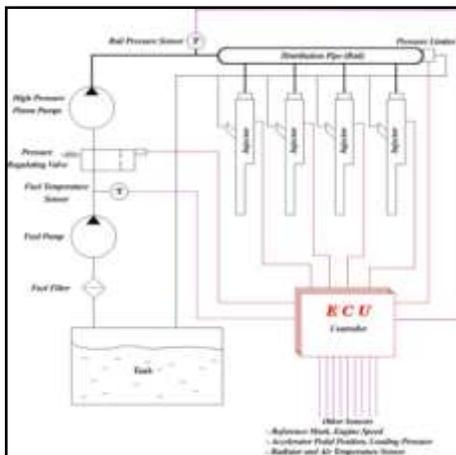


Figura 2.2: Diagrama de alimentación del combustible.
Fuente: Bosch-Common-Rail-8TDI

2.4. SISTEMA DE INYECCIÓN RIEL COMÚN BOSCH

(Bosch, 2003) “El sistema de inyección de acumulador Bosch “Riel Común” para motores con inyección directa ofrece una flexibilidad destacadamente mayor para la adaptación del sistema de inyección al motor, en comparación con los sistemas convencionales propulsados por levas:

- Mayor campo de aplicación (para turismos y vehículos industriales ligeros con potencias de hasta 30 kW/cilindro)
- Para vehículos industriales pesados y hasta incluso para locomotoras y barcos con potencias de hasta aprox. 200 kW/cilindro),
- Alta presión de inyección hasta aprox. 1400 bar,
- Comienzo de inyección variable,
- Posibilidad de inyección previa, principal y posterior,
- Presión de inyección adaptada al estado de servicio.”

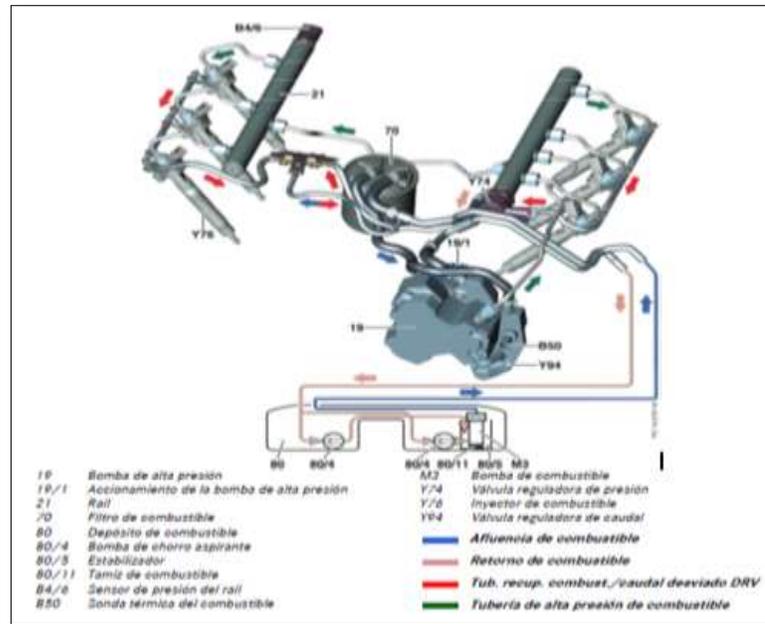


Figura 2.3: Sistema inyección Bosch

Fuente: Robert Bosch

En la inyección de acumulador “Riel Común” están separadas la generación de presión y la inyección. La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección. El combustible para la inyección está a disposición en el acumulador de combustible de alta presión “Riel”. El conductor preestablece el caudal de inyección, la unidad de control electrónica calcula a partir de campos característicos programados, el momento de inyección y la presión de inyección, y el inyector (unidad de inyección) realiza las funciones en cada cilindro del motor, a través de una electroválvula controlada. La parte de unidad de control y de sensores.

La unidad de control registra con la ayuda de sensores el deseo del conductor (posición del pedal acelerador) y el comportamiento de servicio actual del motor y del vehículo. La unidad de control procesa las señales generadas por los sensores y transmitidas a través de líneas de datos. Con las informaciones obtenidas, es capaz de influir sobre el vehículo y especialmente

sobre el motor, controlando y regulando. El sensor de revoluciones del cigüeñal mide el número de revoluciones del motor, y el sensor de revoluciones del árbol de levas determina el orden de encendido (posición de fase). Un potenciómetro como sensor del pedal acelerador comunica a la unidad de control, a través de una señal eléctrica, la solicitud de par motor realizada por el conductor.

2.5. COMPORTAMIENTO DE INYECCIÓN RIEL COMÚN

Un comportamiento de inyección ideal debe cumplir las siguientes exigencias adicionales al comportamiento de inyección convencional:

- La presión de inyección y el caudal de inyección deben poderse establecer independientemente entre sí para cada punto de servicio del motor (grado de libertad adicional para la formación de la mezcla).
- El caudal de inyección debe ser al comienzo de la inyección lo más reducido posible (durante el retraso de encendido entre el comienzo de la inyección y el comienzo de la combustión).
- En el sistema de inyección de acumulador Riel Común con inyección previa e inyección principal, está estructurado modularmente. Del comportamiento de inyección son responsables en primera línea los inyectores controlados por electroválvula, que están enroscados en la culata. El caudal de inyección se subdivide en tres magnitudes para los distintos estados de la inyección: Inyección previa (para un funcionamiento suave del motor) Inyección principal (para una buena curva de par motor) Inyección posterior (sólo en caso de DPF) (regeneración del filtro de partículas diesel (DPF) y reducción de las emisiones de NOX).

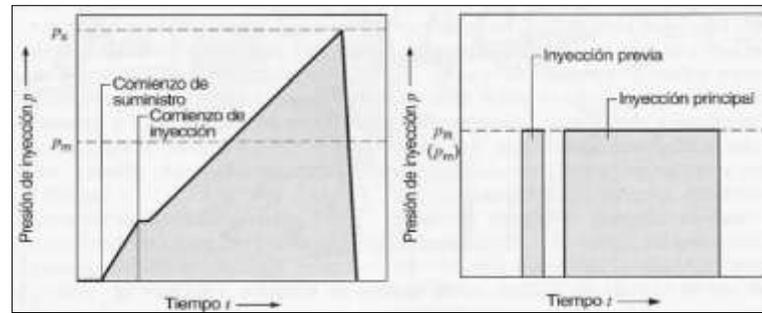


Figura 2.4: Inyección convencional. Vs Riel Común

Fuente: Robert Bosch

2.6. INYECCIÓN PREVIA

(Castro, 2008) “La inyección previa puede estar adelantada respecto al punto muerto superior, hasta 90° del cigüeñal. No obstante, para un comienzo de inyección de la inyección previa más avanzado de 40° del cigüeñal antes del PMS, el combustible puede incidir sobre la superficie del pistón y la pared del cilindro, conduciendo a una dilución inadmisibles del aceite lubricante. En la inyección previa se aporta al cilindro un pequeño caudal de combustible Diesel (1...4 mm³), que origina un «acondicionamiento previo» de la cámara de combustión, pudiendo mejorar el grado de rendimiento de la combustión y consiguiendo los siguientes efectos:”

La presión de compresión aumenta ligeramente mediante una reacción previa o combustión parcial. Reduce el retardo de encendido de la Inyección principal.

Reducen el aumento de la presión de combustión y las puntas de presión de combustión (combustión más suave).

Estos efectos reducen el ruido de combustión, el consumo de combustible y, en muchos casos, las emisiones. En el desarrollo de presión sin inyección previa, la presión aumenta sólo levemente antes del PMS en correspondencia con la compresión, pero lo hace de forma muy pronunciada con el comienzo de

combustión y presenta en el sector de presión máxima una punta comparablemente muy aguda. El aumento pronunciado de la presión y la punta de presión aguda, contribuyen esencialmente al ruido de combustión de un motor Diesel. En el desarrollo de presión con inyección previa, la presión en el margen del PMS alcanza un valor algo mayor y el aumento de la presión de combustión es menos pronunciado.

(Castro, 2008) “La inyección previa contribuye sólo indirectamente, a la generación de par motor, mediante la reducción del retardo de encendido. En función del comienzo de la inyección principal y de la separación entre la inyección previa y la inyección principal, puede aumentar o disminuir el consumo específico de combustible.”

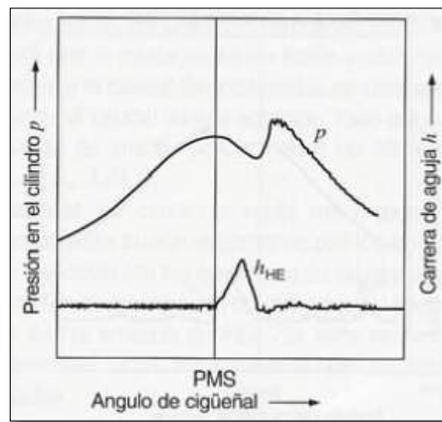


Figura 2.5: Desarrollo de presión sin inyección previa.

Fuente: Motores Diesel

2.7. INYECCIÓN PRINCIPAL

(Castro, 2008) “Con la inyección principal se aporta la energía para el trabajo realizado por el motor. Asimismo es responsable esencialmente de la generación del par motor. En el sistema de inyección de acumulador “Riel Común” se mantiene casi inalterada la magnitud de la presión de inyección durante todo el proceso de inyección.”

2.8. CRDI (COMMON RAIL DIRECT INJECTION) O SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE RIEL COMÚN

Castro G. (2008) “Lo que distingue al sistema de riel común de otros tipos de inyección Diesel es que el diesel a presión no procede directamente de la bomba, sino de un riel común de inyección. El riel es una tubería de la que parte una ramificación para cada inyector. La principal ventaja de este sistema es que la presión con que trabaja es prácticamente independiente del régimen y la carga del motor; es decir, aunque el conductor no acelere a fondo y el motor gire a bajas revoluciones, es posible inyectar el diesel a una presión muy alta y casi constante durante todo el proceso de inyección.”

Las ventajas del CRDI son:

- Optimización del consumo de combustible, tanto en bajo como alto régimen
- El motor genera más potencia y torque, así una mejor aceleración, velocidad final y fuerza en todo momento.

2.8.1. CDTi

Clean Diesel Technologies, Inc., o "CDTi", (NASDAQ: CDTI) es un fabricante global y distribuidor líder de sistemas de control de emisiones y productos para los mercados de automoción y diesel de servicio pesado.

2.8.2. JTD

(Castro, 2008) “Motor JTD (Jet Turbo Diesel) es el nombre comercial que recibe la familia de motores diesel de Fiat Group. Son motores diésel turbo inyección directa con riel común. La denominación se estrenó en 1997 con la comercialización del primer automóvil diesel del mundo con riel común, el Alfa Romeo 156 con motor JTD y tecnología UniJet.”

Actualmente la mayoría de los automóviles diésel de las marcas Fiat, Fiat Professional, Alfa Romeo y Lancia equipan motores JTD. En 2003 se presentó

para sustituir a la inicial tecnología UniJet, una segunda generación del motor JTD con tecnología MultiJet, la cual es capaz de realizar varias inyecciones de combustible por ciclo del cilindro.

Modelos en los que se usa:

- Alfa Romeo MiTo - Alfa Romeo Giulietta (2010)
- Fiat Bravo - Fiat Grande Punto - Fiat Idea
- Lancia Delta (2008) - Lancia Musa
- Suzuki S-Cross

2.8.3. MultiJet

(Castro, 2008) “Multijet es la marca comercial que recibe una tecnología para motores diésel de Fiat Group. El sistema dispone de inyección directa y multiválvulas y es una evolución de la tecnología Unijet. Hasta hace poco tiempo, la última frontera en materia de motores diésel eran los propulsores riel común con tecnología UniJet que, aunque reciben este nombre en realidad no tienen una sola inyección de combustible en la cámara de combustión sino dos: una más pequeña, inicial, y otra principal, más grande.” Hoy eso ya no es así, pues los técnicos Centro Ricerche Fiat han puesto a punto los riel común de segunda generación, llamados MultiJet que efectúan varias inyecciones (de 3 a 5).

El principio mecánico de los dos sistemas es el mismo. En el Unijet, la inyección piloto eleva la temperatura y la presión en el interior del cilindro, para permitir así en el momento de la combustión principal un mejor quemado. Al poder subdividir la inyección principal en varias inyecciones más pequeñas, la cantidad de diésel quemado en el interior del cilindro sigue siendo la misma, pero se obtiene una combustión todavía más gradual y completa. De esta forma, se alcanzan posteriormente objetivos en el control del ruido de la combustión, la reducción de las emisiones y un mejor desempeño.

Los motores “Riel Común” Multijet, por tanto, se diferencian de los “Riel Común” Unijet básicamente por dos componentes: los inyectores y la centralita

electrónica que los controla. Para poder aumentar el número de inyecciones se necesitaban inyectores capaces de reducir el tiempo entre una inyección y otra, en una magnitud de 1500 a 150 microsegundos. También era necesario disminuir la cantidad mínima inyectada: que pasa de 2 a menos de 1 mm³.

Finalmente, era necesario disponer de una centralita “más inteligente”, es decir, capaz de cambiar continuamente la lógica de inyección en función de tres parámetros: el número de revoluciones del motor, el par solicitado en ese momento por el conductor y la temperatura del líquido de refrigeración.

Mientras el nuevo motor Multijet está en funcionamiento, la centralita adapta continuamente el diagrama y el número de inyecciones (además de la cantidad de diésel inyectada). Cuando el agua está a una temperatura inferior a 60 °C y el par solicitado es bajo, se efectúan dos inyecciones pequeñas y una grande, muy próximas entre sí. Cuando el par aumenta, sólo se efectúan dos inyecciones: una pequeña y otra grande. Con un alto número de revoluciones y una elevada solicitud de par, en cambio, sólo se efectúa una inyección. Finalmente, si la temperatura del agua es superior a 60 °C, todo cambia y, para reducir al mínimo las emisiones, el esquema de las inyecciones pasará a ser de una pequeña, una grande y otra pequeña.

2.8.4. MultiJet II

Alarcón S. (2010) “Desde 2009 se comenzó a equipar una nueva generación de motores MultiJet, denominada comercialmente MultiJet II. La diferencia principal frente a la primera generación es una centralita más potente y unos inyectores más precisos con lo que en lugar de 5 se pasa a 8 inyecciones por ciclo. Esto redundará en una mejoría de las prestaciones del motor y una reducción de la contaminación generada. Como consecuencia los motores equipados con esta tecnología son capaces cumplir la actual regulación europea de contaminación EURO V y los futuros estándares EURO VI sin necesidad equipar otros dispositivos como filtro de partículas o similares.”

2.9. MARCAS

En la industria automotriz existen 4 marcas a nivel mundial que por su destacado desempeño se han ganado el reconocimiento de sus usuarios.

2.9.1. BOSCH

- Según las versiones utiliza bomba de transferencia eléctrica (CP1), en otros casos la transferencia es mecánica e incorporada a la bomba de alta presión (CP2 y CP3).
- La Bomba de alta presión es de 3 lóbulos a 120 grados.
- Siempre utiliza Válvula IPR (en la bomba de AP. o en el Rail).
- El sensor de presión de gas oil está montado en la rampa.
- En algunas versiones de CP1 (Peugeot) utiliza una Válvula de inhibición del tercer pistón.
- Utiliza inyectores bobinados. Resistencia del inyector: 0,5-0,8 Ohm.
- Los inyectores trabajan con una tensión de acometida de 70-80 V y una corriente de 20-12A.
- La ECU controla el LADO ALTO y el LADO BAJO por lo que hay pulsos en los 2 cables del inyector.
- La presión de inyección es de: 220 bares (mín.) a 1350 bares (máx.). Regulada a lazo cerrado (ICP-IPR).

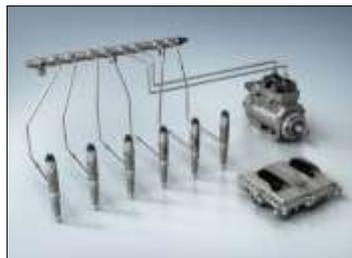


Figura 2.6: Sistema CR BOSCH

Fuente: Robert Bosch

(Bosch, 2003) “Lo más moderno en sistemas Common Rail Sistemas CRS3-18 (con 1800 bar) y CRS3-20 (con 2.000 bar) permitirá los motores que se diseñaron con propiedades ideales gracias a sus inyectores piezoeléctricos.”

Las diferentes calidades de combustible son un desafío para cada sistema de inyección. Con el actuador piezoeléctrico robusta los inyectores del CRS3-18/20 son perfectamente adecuadas en comparación con los de solenoide, el poder del actuador piezoeléctrico es de aproximadamente diez veces más alta. Esto significa que es menos susceptible a contaminación de partículas pequeñas en el combustible.

CR13-18 y -20 inyectores piezoeléctricos son los puntos de referencia con respecto a la cantidad mínima de inyección piloto, rápida sucesión de inyecciones y estabilidad de volumen más el tiempo de vida, donde el actuador piezoeléctrico está integrado en el cuerpo del inyector.

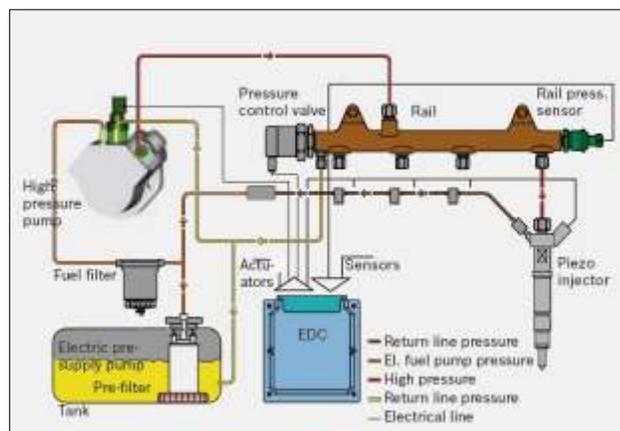


Figura 2.7: CRS3 con 1800 a 2000 bar y piezo inyectores

Fuente: Robert Bosch

2.9.2. SIEMENS

- Utiliza una Bomba de AP de 3 lóbulos a 120 grados.

- La bomba tiene incorporados al Regulador de Caudal SCV (Suction Control Valve) y al Regulador de Presión del Rail IPR (Inyección Pressure Regulator).
- La válvula SCV regula la cantidad de combustible que se envía a comprimir en la etapa de alta presión.
- Sensor de presión de gas oil está montado en la rampa común.
- La transferencia es mecánica e incorporada a la Bomba de AP.
- Utiliza inyectores piezo eléctricos.
- Trabajan con un voltaje de alrededor de 100V y tiempos de inyección muy cortos (0,3 ms).
- Puede realizar hasta 2 pre-inyecciones, una inyección principal y 2 post inyecciones.
- Presiones de inyección: 250 bares (mín.) y 1600 bares (máx.).

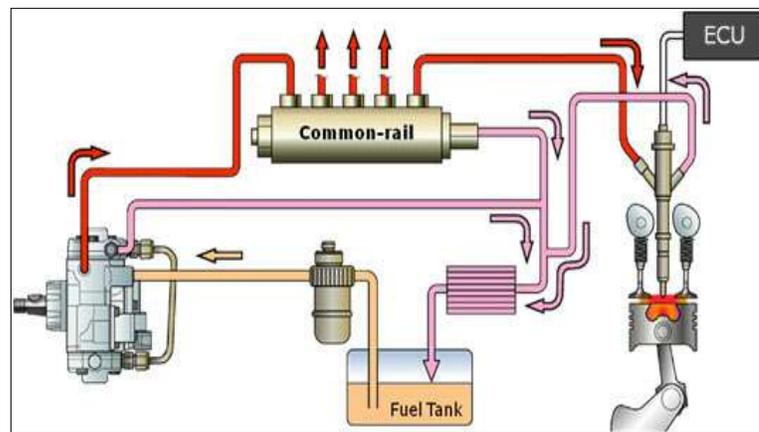


Figura 2.8: CR SIEMES

Fuente: Robert Bosch

2.9.3. DELPHI

Es líder reconocido de la industria en tecnología de inyección diésel. La unidad de bomba de Sistemas Riel Común Delphi Diesel cuenta con una inyección diesel Delphi fiable.

Estrategias de control de combustible patentado de Delphi:

- Acelerómetro Piloto de Control (APC).
- Piloto de Control de Velocidad (SPC).
- Individual Inyector Caracterización (I3C)

APC de Delphi o SPC permite a los inyectores que proporcionen la cantidad precisa de combustible durante la vida útil del vehículo. I3C de Delphi ayuda a que el motor funcione con la máxima eficacia y permite a la ECU para ser precisamente calibrado con el sistema de inyección.



Figura 2.9: CR DELPHI

Fuente: Robert Bosch

2.9.4. DENSO

- Utiliza una bomba de AP de 2 elementos radiales sin anillo de levas.
- Los elementos son accionados por un eje con excéntrica.
- La bomba incorpora una Válvula de Control de Succión (SCV) y un sensor de temperatura de gas oil.
- Utiliza inyectores de tipo bobinados.
- Los inyectores tienen una resistencia de 0,8 a 1 Ohm.
- Tiene PCM e IDM. El PCM controla al IDM y este acciona a los inyectores.

- El IDM recibe del PCM la señal Injection Time y le retorna la señal Inj.
- La bomba regula la presión del rail de 20MPa a 180MPa.
- El sistema realiza pre inyección e inyección principal hasta las 3000RPM.
- Los tiempos de inyección son de 0,4 ms a 1,5 ms.

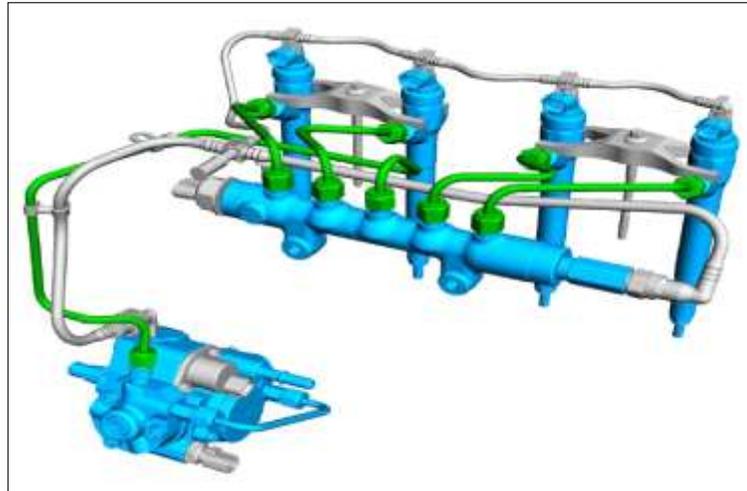


Figura 2.10: CR DENSO

Fuente: Bosch

2.10. RIEL.

El "rail" o "riel de inyectores" es un acumulador de presión, situado después de la bomba de alta presión: constituye una reserva de combustible a alta presión para suministro de los inyectores. El conjunto del riel está constituido por:

- El cuerpo o el riel mismo.
- El sensor de presión del raíl (es un sensor piezoeléctrico)
- Adaptadores o acoples de entrada y salida.
- Una Válvula controladora de Presión.



Figura 2.11: Rail de alta presión de CRS BOSCH

Fuente: Robert Bosch

2.11. INYECTORES.

(Bosch, 2003) “Bosch provee sistemas y soluciones completas para casi todas las unidades inyectoras (UI/UIN), inyectores Common Rail (CRI/CRIN) y porta inyectores (NHA).”

La calidad de los inyectores hace el Diesel más limpio. La fabricación atiende a las normas de emisiones de gases Euro 4 y 5 y garantiza el desarrollo de motores Diesel más eficientes.

2.11.1. FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS

(Augeri, 2008) “La operación de estos inyectores se realiza por un efecto llamado piezoeléctrico. El fenómeno piezoeléctrico consiste en un cristal de cuarzo que cambia de tamaño cuando se somete a un impulso eléctrico. Inversamente es capaz de generar un impulso eléctrico si se fuerza a cambiar deformándolo.”



Figura 2.12: De inyectores piezoeléctricos
Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

En estos inyectores, el solenoide que abría y cerraba la válvula para permitir el drenaje al retorno del diésel sobre el embolo, es remplazado por un elemento Piezoeléctrico.

El PCM dispone del mecanismo en el interior del inyector que realiza las diferencias de presiones y el movimiento mecánico posibilitando así la salida de combustible al cilindro.

Para este fin el PCM envía sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2mseg. Ya en el interior, los cristales logran elevar este voltaje a unos 140 V, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aprox. 7 Amp. A este proceso se lo llama TENSION DE CARGA y CORRIENTE DE CARGA.

El aumento de tensión se logra gracias al contacto entre los mismos cristales los cuales logran multiplicar el efecto de voltaje. Para terminar el proceso de inyección es necesario colocar otro impulso de tensión final llamado TIEMPO DE DESCARGA esto toma alrededor de otros 0,2 ms.

En la siguiente grafica se aprecia la relación de corriente, voltaje y desplazamiento de la aguja del inyector.

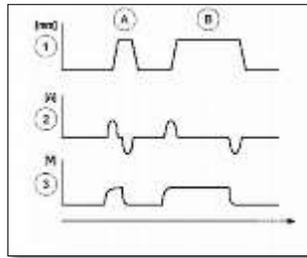


Figura 2.13: Relación corriente voltaje y desplazamiento
Fuente: CISE ELECTRONICS COR

- A. Cantidad de preinyección
 - B. Cantidad de inyección principal
1. Carrera de la aguja del inyector (mm)
 2. Corriente de activación (amperios)
 3. Tensión (voltios)
 4. Ángulo del cigüeñal (grados del cigüeñal)

En la gráfica se puede apreciar que existe una preinyección y una inyección principal. Si se analiza la gráfica de corriente se identifica que es necesario realizar una descarga de la corriente acumulada en el piezoeléctrico para lograr que el mismo se contraiga y pare la inyección.

En el caso de desconectar el inyector justo cuando está inyectando se genera una condición de apertura permanente lo que podría arruinar el motor. Inyección constante.

2.11.2. EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO PIEZOELÉCTRICO

(Augeri, 2008) “El inyector dispone en su interior de un dispositivo piezoeléctrico, que es el encargado de producir el movimiento mecánico necesario para posibilitar la inyección de combustible.”

Este mecanismo electromecánico trabaja en forma muy rápida, y al aplicarle corriente al mismo se deforma, contrayéndose primero y luego expandiéndose nuevamente para cerrar el paso de combustible.



Figura 2.14: Fenómeno piezoeléctrico

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

El elemento piezoeléctrico está formado por unas placas metálicas separadas por un dieléctrico de cuarzo, semejante a la construcción de un condensador de placas planas.

Se pueden ver las placas metálicas en color dorado, y el cuarzo que actúa como aislante en color gris.

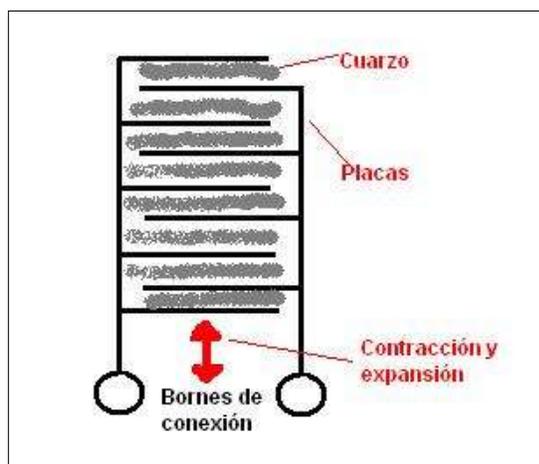


Figura 2.15: Bornes de conexión

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

(Augeri, 2008) “Al aplicar una tensión de aprox. 70 voltios sobre las placas del dispositivo piezoeléctrico, el mismo se contrae, dado que el cuarzo que está actuado como dieléctrico tiene esta particular propiedad. La distancia entre las placas disminuye y se abre la válvula que posibilita el drenaje del diésel hacia el orificio de retorno.”

Pero al trabajar el dieléctrico contrayéndose genera voltaje, propiedad también del cuarzo presionado entre las placas, con lo que la tensión se eleva a unos 140 voltios, quedando este dispositivo cargado como si fuera un condensador.

Luego el PCM realiza una especie de cortocircuito entre los terminales de conexión, posibilitando la descarga de este "condensador" piezoeléctrico y el mecanismo se expande cerrando la válvula.

2.11.3. INYECTOR CERRADO (ESTADO DE REPOSO)

(Gonzales, 2010) “La electroválvula no está activada (estado de reposo), por lo tanto se encuentra cerrado el estrangulamiento de salida que hace que la presión del combustible sea igual en la cámara de control que en el volumen de cámara de la tobera, por lo que la aguja del inyector permanece apretado sobre su asiento por el muelle del inyector, pero sobre todo la aguja se mantiene cerrada porque la presión en la cámara de control y en el volumen de cámara de la tobera (que son iguales) actúan sobre áreas distintas.”

La primera actúa sobre el émbolo de control y la segunda sobre la diferencia de diámetros de la aguja, que es un área menor y por tanto la fuerza que empuja a la aguja contra el asiento es mayor que la fuerza en sentido contrario, que

tendería a abrirla.

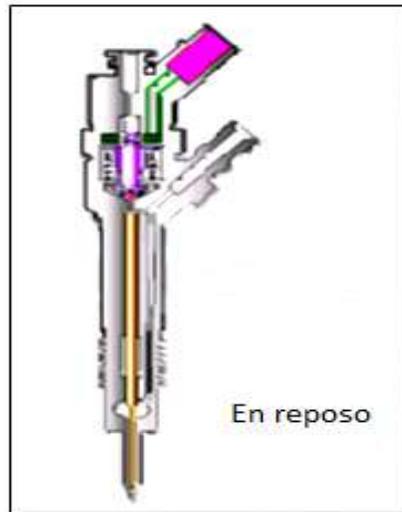


Figura 2.16: Inyector en reposo.

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

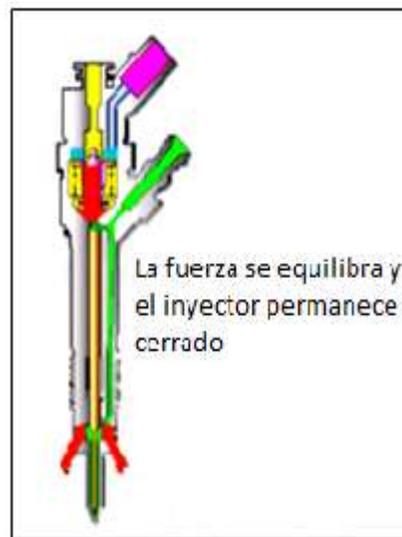


Figura 2.17: Fuerzas que actúan en el inyector.

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

2.11.4. EL INYECTOR ABRE (COMIENZO DE LA INYECCIÓN)

Gonzales C. (2010) "El inyector se encuentra en posición de reposo. La electroválvula es activada con la llamada corriente de excitación que sirve para

la apertura rápida de la electroválvula. La fuerza del electroimán activado ahora es superior a la fuerza del muelle de válvula, y el inducido abre el estrangulador de salida. Con la apertura del estrangulador de salida puede fluir ahora combustible, saliendo del recinto de control de válvula hacia el recinto hueco situado por encima, y volver al depósito de combustible a través de las tuberías de retorno. El estrangulador de entrada impide una compensación completa de la presión, y disminuye la presión en la cámara de control de válvula. Esto conduce a que la presión en la cámara de control sea menor que la presión existente en la cámara de la tobera. La presión disminuida en la cámara de control de la válvula conduce a una disminución de la fuerza sobre el émbolo de mando y da lugar a la apertura de la aguja del inyector. Comienza ahora la inyección.”

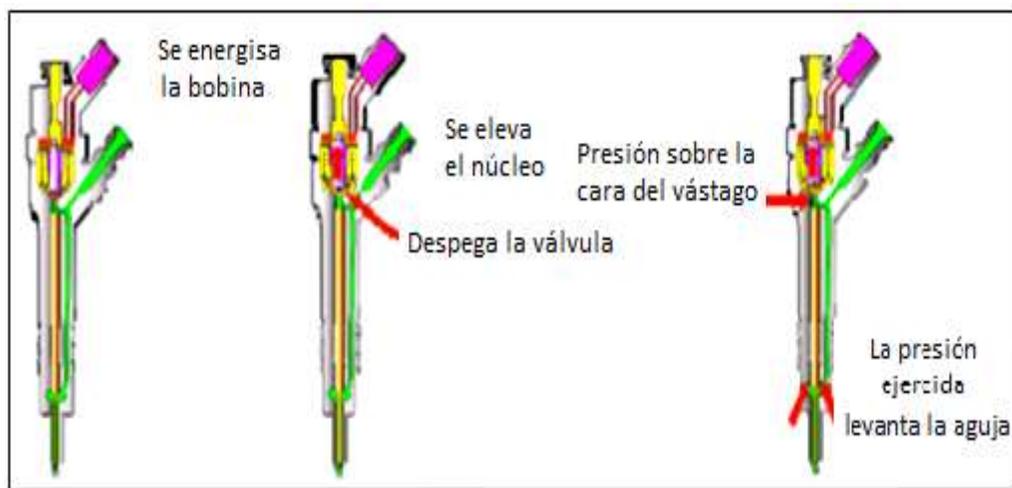


Figura 2.18: El inyector abre (comienzo de la inyección).

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

2.11.5. INYECTOR TOTALMENTE ABIERTO

Gonzales C. (2010) “El émbolo de mando alcanza su tope superior y permanece allí sobre un volumen de combustible de efecto amortiguador. La tobera del inyector está ahora totalmente abierta y el combustible es inyectado en la cámara de combustión con una presión que corresponde

aproximadamente a la presión en el Rail.”

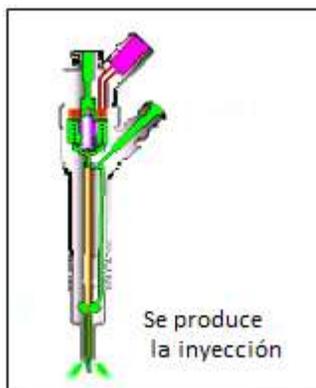


Figura 2.19: Inyector Abierto

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

2.11.6. EL INYECTOR CIERRA (FINAL DE INYECCIÓN)

Gonzales C. (2010) “Cuando deja de activarse la electroválvula, el inducido es presionado hacia abajo por la fuerza del muelle de válvula y la bola cierra el estrangulador de salida. Al cerrarse el estrangulador de salida se forma de nuevo en el recinto de control una presión como en el Rail, a través del estrangulador de entrada. Este aumento de presión supone un incremento de fuerza ejercido sobre el embolo de mando. Esta fuerza del recinto de control de válvula y la fuerza del muelle, superan ahora la fuerza del volumen de la cámara de tobera y se cierra sobre su asiento la aguja del inyector.”

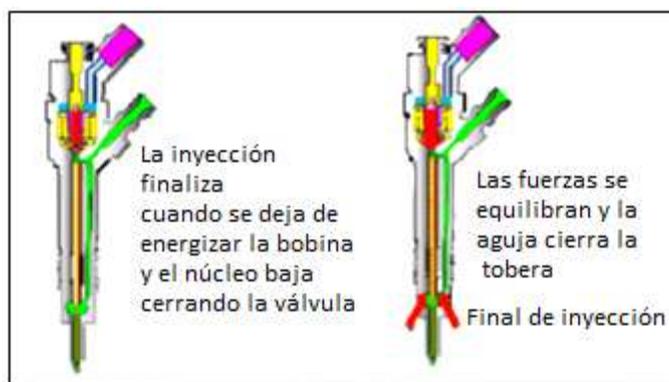


Figura 2.20: Inyector cerrado

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

2.12. INYECTOR PIEZOELÉCTRICO

Gonzales C. (2010) “Un elemento piezoeléctrico es aquel al cual si se le aplica una deformación genera una tensión eléctrica. Inversamente, cuando se le aplica tensión puede manifestar una deformación mecánica.” Los inyectores de tipo piezoeléctrico tienen grandes ventajas respecto a los convencionales:

- Tiempos de conmutación muy pequeños.
- Posibilidad de inyecciones múltiples en lapsos muy cortos.
- Gran exactitud de dosificación.

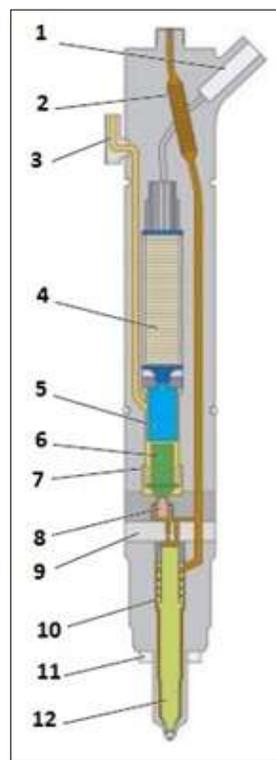


Figura 2.21: Inyector piezoeléctrico.

1 Terminal eléctrico, 2 Filtro de barra, 3 Retorno de combustible, 4 Actuador piezoeléctrico, 5 Embolo acoplador, 6 Embolo de válvula, 7 Muelle embolo de válvula, 8 Válvula de mando, 9 Placa estranguladora, 10 Muelle de la tobera del Inyector, 11 Retén, 12 Aguja

Fuente: CISE ELECTRONICS COR

2.12.1. ACTUADOR PIEZOELECTRICO

(Gonzales, 2010) “Está constituido por una gran cantidad de elementos piezoeléctricos, para poder conseguir un recorrido de suficiente magnitud para la gestión del inyector. Al aplicarse la tensión el actuador piezoeléctrico se dilata hasta 0.03mm con una tensión de excitación de 110 – 148 voltios.”

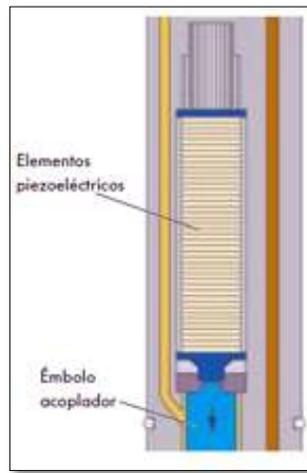


Figura 2.22: Actuador piezoeléctrico

Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

2.12.2. CONTROL DE LOS INYECTORES

(Gonzales, 2010)“La corriente de control recupera la forma del gráfico Impulso de inyección. La corriente discontinua permite reducir las pérdidas por efecto de julios a nivel del calculador y del inyector. La corriente de llamada (I_a) es superior a la corriente de mantenimiento (I_m) ya que en la fase de mantenimiento: El entrehierro entre la válvula y la bobina se reduce (el valor de la carrera de la válvula, o sea aproximadamente 30 μm) por lo que la fuerza electromagnética que hay que aplicar a la válvula puede ser reducida. No es pues necesario vencer la inercia de la válvula.”

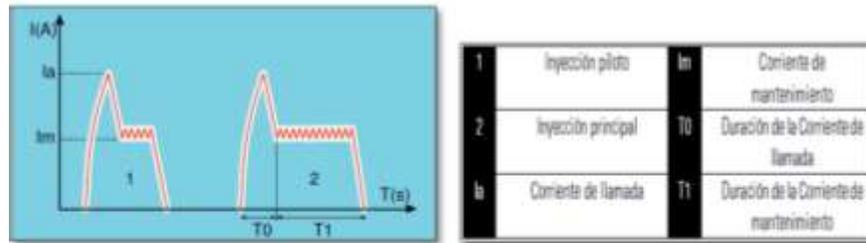


Figura 2.23: Impulso de inyección
Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

2.12.3. DESARROLLO Y PRODUCCIÓN BOSCH

(Bosch, 2003) “El progreso continuo con materiales avanzados aumentan la presión de la inyección de 1,200 bar hasta 2,200 bar, proporcionando:”

- Mayor pulverización.
- Combustión más eficiente y mayor potencia.
- Menor consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes.
- Medidas mínimas de 0,002 mm en la fabricación garantizan:
- Menor desgaste.
- Funcionamiento más suave.
- Mayor vida útil.



Figura 2.24: Inyectores BOSCH
Fuente: Robert Bosch

2.12.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS INYECTORES BOSCH

Tolerancia: 0,002mm para piezas muebles: 30 veces más fino que un cabello.

El combustible es inyectado en la cámara de combustión a una presión de 2,200 bares. Esto equivale a concentrar el peso de un sedán de lujo sobre la uña del dedo.

Volumen de Inyección: Varía entre 1 y 350 mm³. Ese volumen es inyectado a 2.000km/h a través de un orificio de 0,25 mm².

Mucho más rápido que un parpadeo: La inyección ocurre entre 1 a 2 milisegundos. El parpadeo (0,4 segundos) dura más tiempo que 200 inyecciones.

Estándares máximos de calidad global

Todas las fábricas de inyectores Bosch tienen certificación ISO/TS 16949 (Certificación para Equipo Original).

2.12.5. Proceso de remplazo de aguja inyectora BOSCH

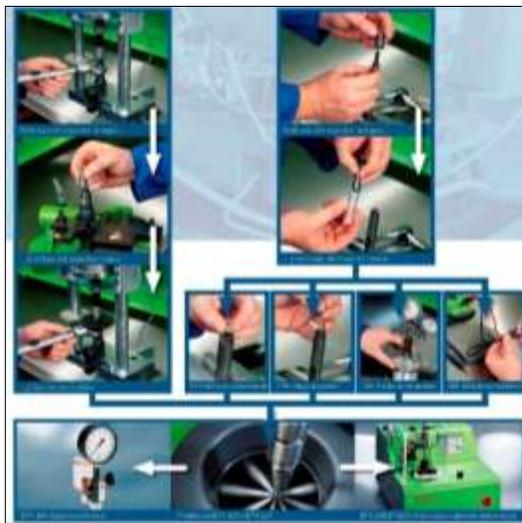


Figura 2.25: Remplazo de aguja inyectora BOSCH

Fuente: Bosch Catálogos

Bosch es líder mundial en la industria de servicio automotriz y tiene una larga tradición de excelencia. Su diversa línea de productos ha ganado ocho Top 20 Herramientas de premios de la revista Motor, el más alto honor en el mercado de accesorios.

2.13. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

(Bosch, 2003) “En la inyección de acumulador "Common Rail" se realizan por separado la generación de presión y la inyección. La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección y está a disposición en el "Rail" (acumulador).

El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica ECU y se realizan por el inyector en cada cilindro del motor, mediante el control de una electroválvula.”

2.13.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

(Bosch, 2003) “La técnica utilizada en el diseño del " Riel Común " está basada en los sistemas de inyección gasolina pero adaptada debidamente a las características de los motores diesel de inyección directa. La palabra " Riel Común " puede traducirse como "rampa de inyección", es decir, se hace alusión al elemento característico del sistema de inyección gasolina.

La diferencia fundamental entre los dos sistemas viene dada por el funcionamiento con mayores presiones de trabajo en los motores diesel, del orden de 1350 bar que puede desarrollar un sistema " Riel Común " a los menos de 5 bar que desarrolla un sistema de inyección gasolina.”

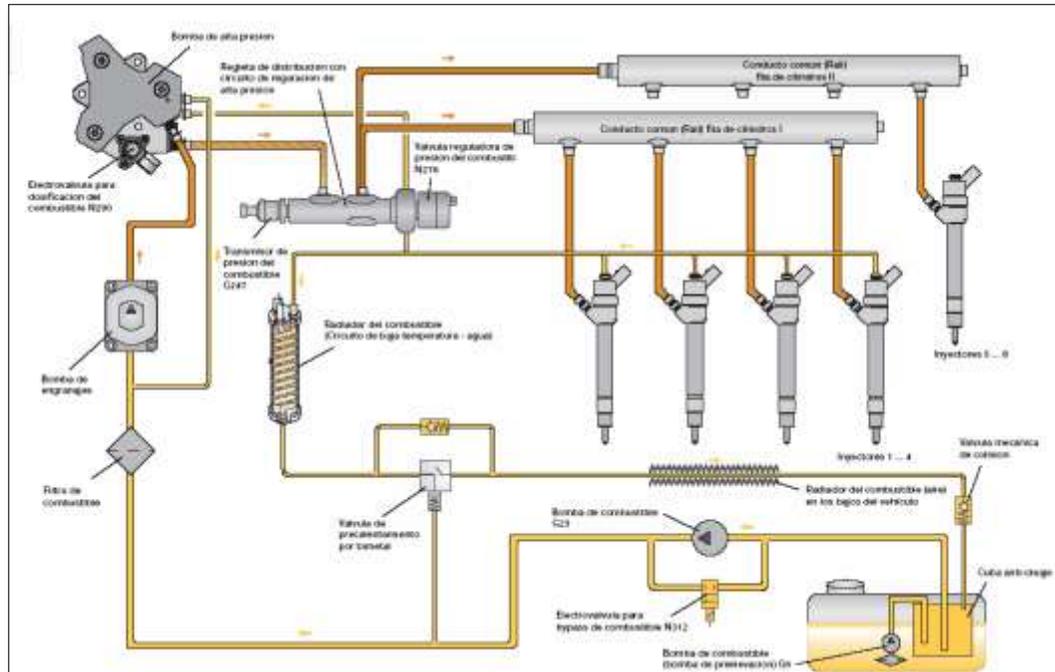


Figura 2.26: Diagrama del Sistema " Riel Común"

Fuente: Bosch

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR DE PULSOS PARA INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS

3.1. REQUERIMIENTOS:

El simulador de pruebas de inyectores piezoeléctricos en su diseño debe cumplir con las siguientes condiciones:

Voltaje de operación del simulador	110V
Voltaje de trabajo del inyector	100V- 400V
Voltaje de operación circuito eléctrico	12V
Voltaje de operación interfaz Arduino	5V

Tiempo de activación del inyector

- Pre-inyección: 2ms
- Inyección: 2ms
- Post-inyección: 2ms

Presiones de operación del simulador

- Presión máxima de inyección = 60 MPa (600 bares)
- Presión mínima de inyección = 35 MPa (350 bares)
- Capacidad del depósito de combustible = 1 litro (1000 cm³)
- Tubería de inyección para alta presión = M 14 x 1.5
- Factor de seguridad mínimo recomendado = 3.0
- Sistema de filtrado = 5micrones

Presiones de soporte de la estructura

- Presión máxima ubicación de la bomba = 80.04 MPa (800 bares)

Sistema de medición osciloscopio.

3.2. DISEÑO MECÁNICO

Para el diseño mecánico del banco de prueba se utiliza el programa Solid Works Simulation 2014, el mismo que es un programa de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) que emplea el Método de Elemento Finito (FEM) para realizar el análisis de tensiones de los componentes mecánicos previamente modelados en 3D, calculando de forma rápida y precisa sus esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de un componente mecánico en función de los materiales asignados, las cargas a las que están sometidos y el tipo de sujeciones en los puntos de apoyo.

3.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Partiendo de los requerimientos funcionales del banco de pruebas, así como; de las especificaciones técnicas que tienen dispositivos semejantes existentes en el mercado (anexo), a continuación se describen los principales parámetros que influyen directamente en el diseño mecánico e hidráulico del banco.

Presión máxima de inyección	=	60 MPa (600 bares)
Capacidad del depósito de combustible	=	1 litro (1000 cm ³)
Tubería de inyección para alta presión	=	M 14 x 1.5
Factor de seguridad mínimo recomendado	=	3.0

3.2.2 DETERMINACIÓN DE CARGAS

Mediante el procedimiento desarrollado a continuación se determinan las fuerzas y el torque que actúa sobre las diferentes partes del banco de pruebas de inyectores.

a) **Fuerza Generada en el Pistón de Bombeo**

Debido a que la bomba manual de inyección (Figura 3.1) debe proporcionar una presión máxima de 60 MPa para activar los inyectores y considerando que el pistón de bombeo tiene un diámetro de 10 mm, la fuerza requerida en el pistón para generar la presión indicada viene dado por:

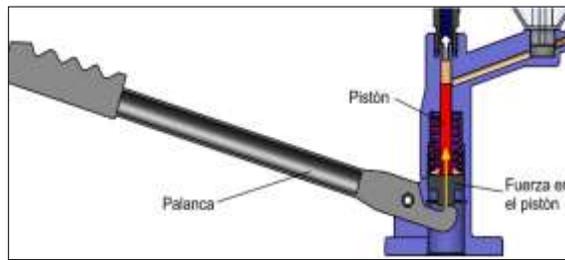


Figura 3.1: Bomba manual del banco de pruebas de inyectores

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

$$P = \frac{F_2}{A_{pis}}$$

Ecuación 3.1

Donde:

P = máxima presión de inyección

A_{pis} = área transversal del pistón de bombeo

F_2 = fuerza en el pistón

Despejando se tiene:

$$F_2 = P \cdot A_{pis} = \frac{\pi \cdot d_{pis}^2}{4} \cdot P$$

Ecuación 3.2

$$F_2 = \frac{\pi \cdot 0.01^2 m^2}{4} \cdot 60 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$F_{pis} = 4712,4 N$$

b) Fuerza Generadas en la Palanca

A partir de la fuerza requerida en el pistón de bombeo y considerando las dimensiones de la palanca de bombeo, se determina la fuerza que es necesaria aplicar con la mano en el extremo opuesto de la palanca (figura 3.2):

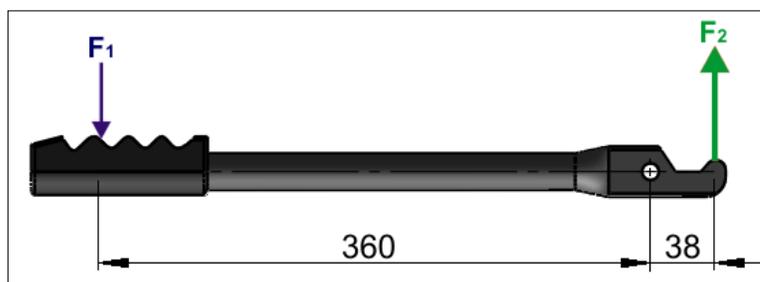


Figura 3.2: Fuerza requerida en la palanca

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

$$F_1 \cdot 360 \text{ mm} = F_2 \cdot 38 \text{ mm}$$

Ecuación 3.3

$$F_1 = 3141.6 \text{ N} \cdot \frac{38}{360}$$

$$F_1 = 497,4 \text{ N} = 50,7 \text{ kgf}$$

c) Reacción en el Pasador de la Palanca

Aplicando las ecuaciones de equilibrio estático a lo largo de la palanca de la figura 3.3:

$$\sum F_Y = 0$$

Ecuación 3.4

$$-F_1 - R_1 + F_2 = 0$$

$$R_1 = 4712,4 - 497,4$$

$$R_1 = 4215,0 \text{ N}$$

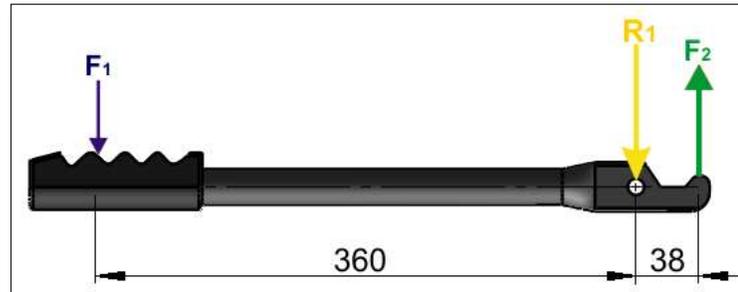


Figura 3.3: Diagrama del cuerpo libre de la palanca

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

d) Reacciones en la Estructura Soporte

A partir de las fuerzas encontradas y aplicando las ecuaciones de equilibrio estático se determinan las fuerzas que actúan sobre la estructura soporte del banco de pruebas (figura 3.4).

$$\sum M_A = 0$$

Ecuación 3.5

$$F_1 \cdot 365 \text{ mm} - R_B \cdot 70 \text{ mm} = 0$$

$$R_B = \frac{497,4 \cdot 365}{70}$$

$$R_B = 2593,6 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0$$

Ecuación 3.6

$$F_1 \cdot 420 \text{ mm} - R_A \cdot 65 \text{ mm} = 0$$

$$R_A = \frac{497,4 \cdot 435}{70}$$

$$R_A = 3090,9 \text{ N}$$

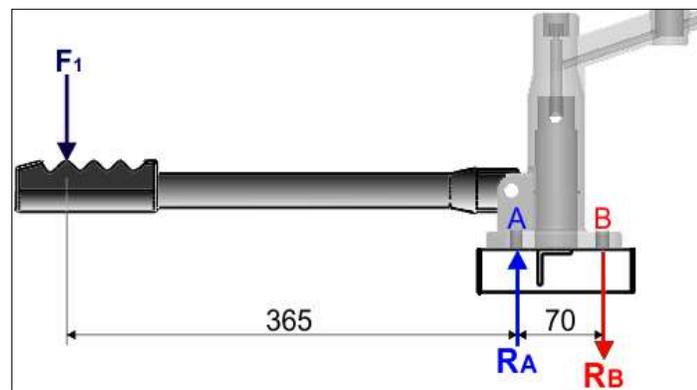


Figura 3.4: Análisis de fuerzas en la estructura soporte

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

e) **Peso de los Componentes Hidráulicos, Eléctricos y Electrónicos**

Tomando en cuenta que para el adecuado funcionamiento del banco de pruebas, es necesario instalar sobre su estructura soporte varios componentes hidráulicos, eléctricos y electrónicos; como son: cañerías, acoples, osciloscopio, generador de pulsos, pulsadores, tarjetas de control, etc., se estima que todos estos componentes producen una carga igual a:

Peso máximo de los componentes (W_T) = 500 N

3.3. MODELADO Y ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS

Mediante el software SolidWorks Office Premium y con la aplicación de los diferentes comandos para croquizar, editar sólidos y las relaciones de posición, se modelaron y ensamblaron las diferentes piezas que componen el banco de pruebas de inyectores (figura 3.5), para posteriormente ejecutar el análisis y simulación de esfuerzos.



Figura 3.5: Ensamblaje completo del banco de pruebas

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

3.3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

La estructura soporta todos los elementos del banco de pruebas y será fabricada con tubo cuadrado, ángulo y plancha de acero estructural ASTM A36, cuyas propiedades mecánicas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.1: Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36

Nombre de propiedades	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	7.93e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7850	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	2.5e+008	N/m ²	Constante

Fuente: www.astm.org/download-A36

Una vez modelada la estructura soporte y asignadas las cargas y sujeciones (figura 3.6) a las que está sometida, se procede a realizar su análisis de esfuerzos en el programa SolidWorksSimulation:

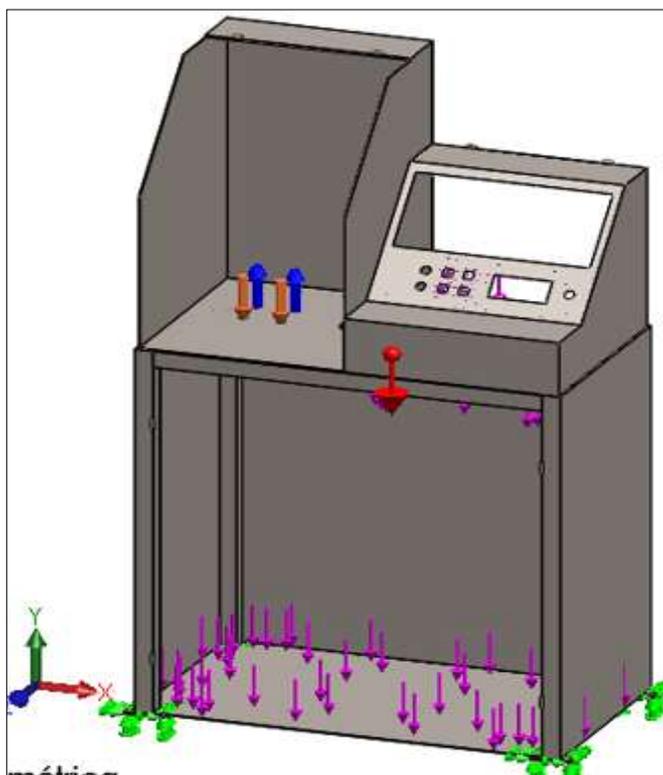


Figura 3.6: Asignación de cargas y sujeciones

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

f) **Esfuerzo de Von Mises**

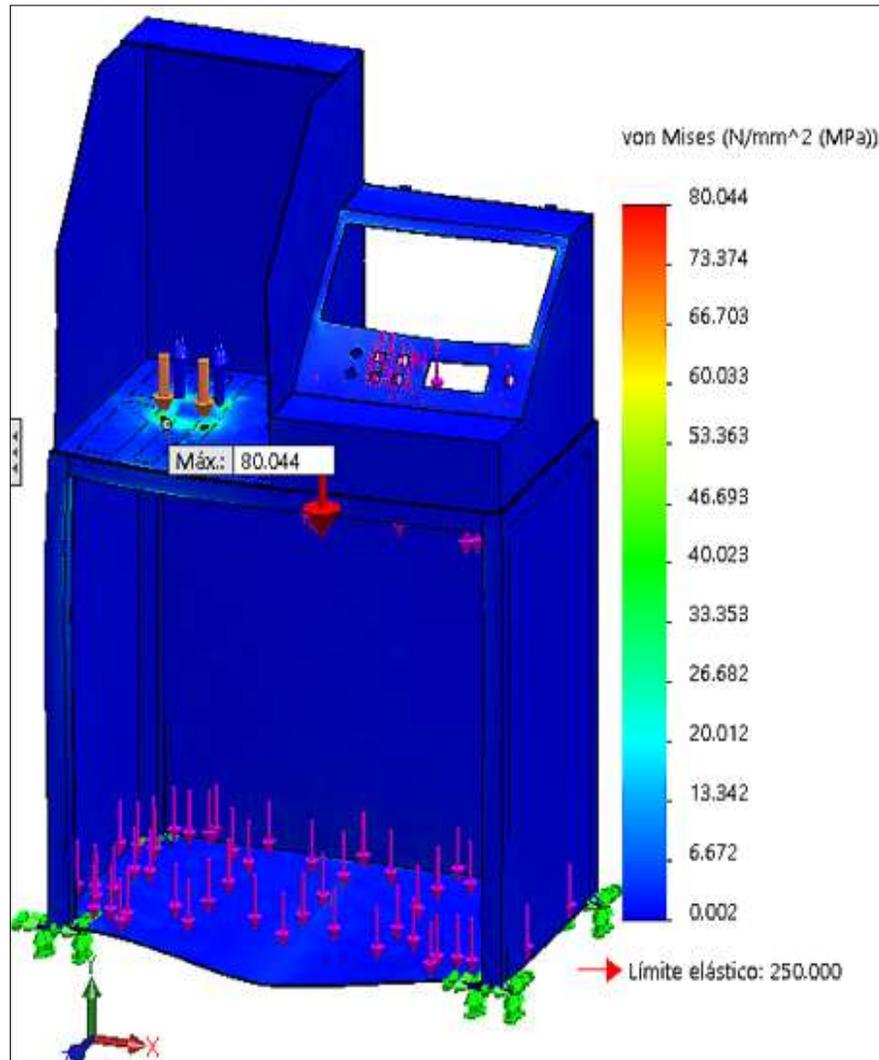


Figura 3.7: Tensión de Von Mises en la estructura soporte

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

En la figura 3.7 se determina que en la estructura soporte el valor máximo de la tensión de Von Mises es de 80,04 MPa y se produce en los agujeros para los pernos que sujetan la bomba de inyección manual, sin embargo esta tensión es menor que el límite de fluencia del material de 250 MPa, por lo tanto la estructura puede resistir la tensión máxima a la que está sometido.

g) Desplazamientos Resultantes

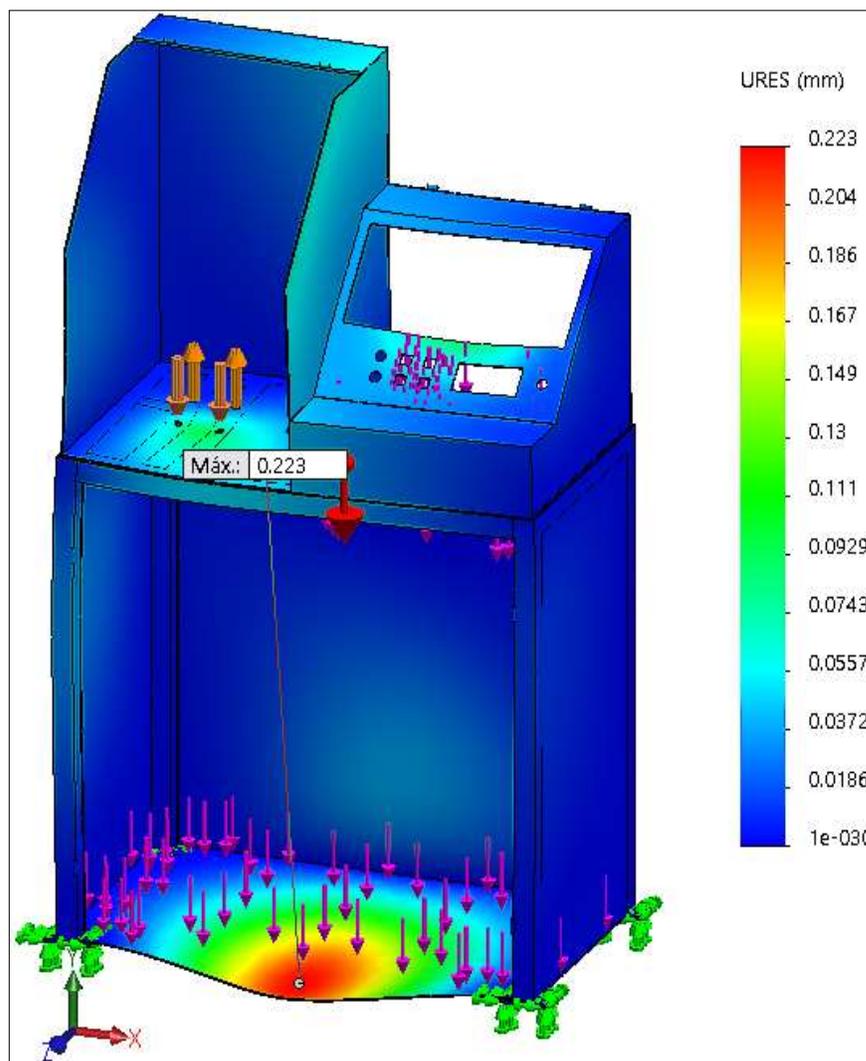


Figura 3.8: Desplazamientos resultantes en la estructura soporte

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Al analizar la figura 3.8 se observa que el desplazamiento máximo se produce en la zona central de la placa base inferior de la estructura soporte y su valor es de 0.223 mm, por lo que se considera que éste desplazamiento no afecta el funcionamiento normal del banco de pruebas.

h) Factor de seguridad

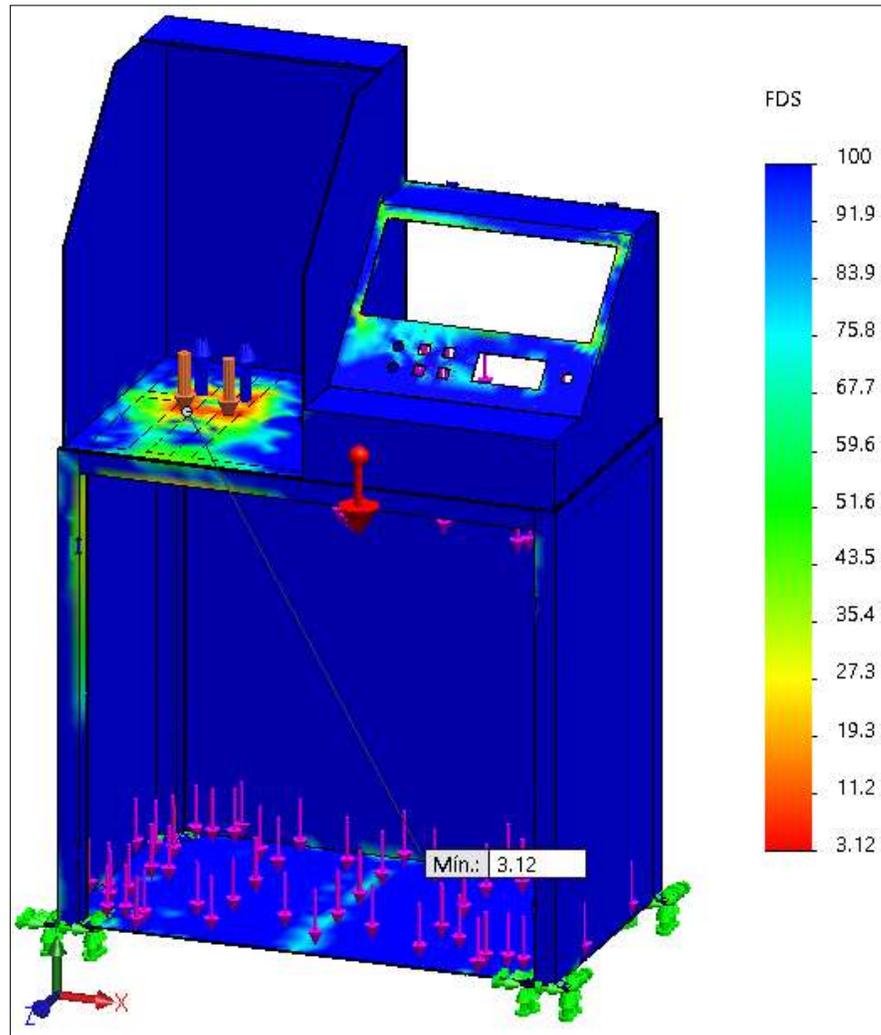


Figura 3.9: Distribución del factor de seguridad en la estructura soporte

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Como se observa en la figura 3.9 la parte crítica de la estructura soporte se encuentra en los agujeros para los pernos de sujeción de la bomba de inyección y su valor es de 3,12, pero al ser éste valor mayor que el mínimo recomendado, se concluye que su diseño es seguro.

3.4. DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico tiene como fin determinar si el combustible dentro de la bomba de inyección alcanza la velocidad y presión de trabajo requeridas. Debido a la geometría compleja que tiene el trazado por donde circula el combustible en el interior de la bomba de inyección, el análisis del flujo de fluido se realiza con la ayuda del programa SolidWorks Flow Simulation que es un software de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), que permite simular el comportamiento dinámico del diésel a medida que circula por la bomba de inyección hasta el inyector.

3.4.1 CREACIÓN DEL PROYECTO EN FLOW SIMULATION

Para crear el proyecto en SolidWorks Flow Simulation se siguen los pasos descritos a continuación:

- Inicialmente mediante el *Wizard* del menú Flow Simulation se configura los datos iniciales del proyecto.

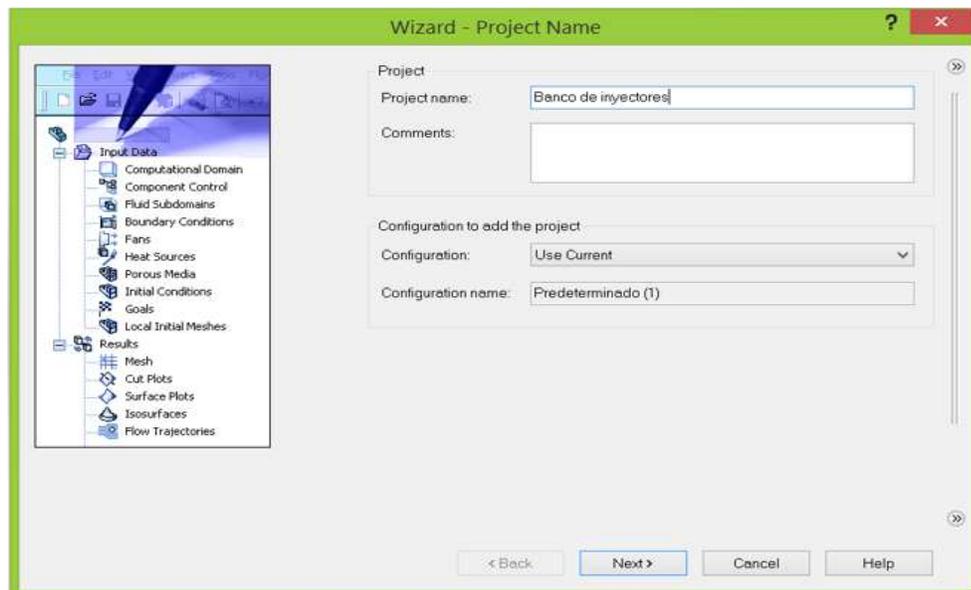


Figura 3.10: Configuración inicial del proyecto

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

- A continuación se selecciona el *Sistema de Unidades* con que se desea trabajar y se especifica las unidades para cada parámetro.

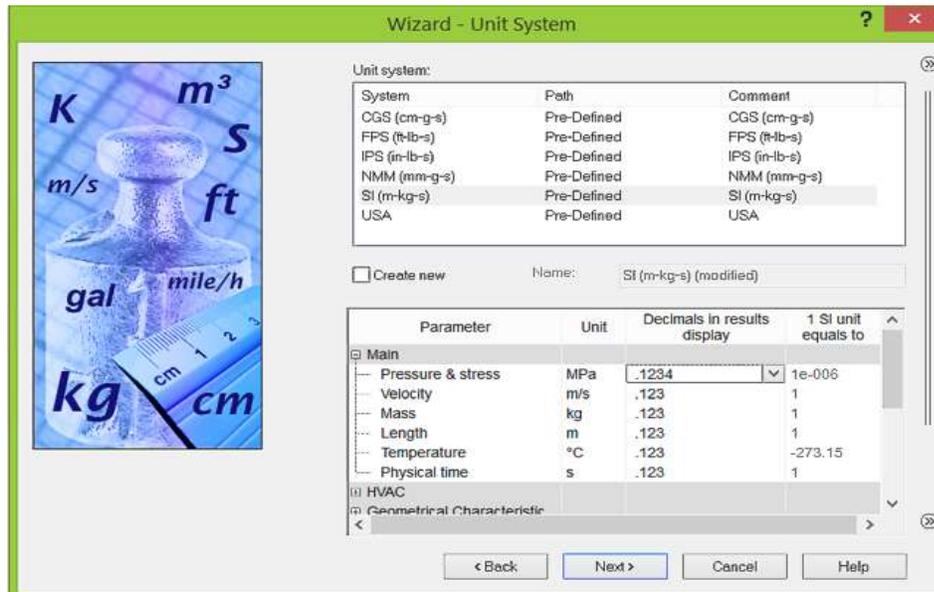


Figura 3.11: Selección del sistema de unidades

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

- Luego se escoge el tipo de análisis que se desea realizar. Para el presente proyecto se selecciona un análisis del *Tipo Interno*.

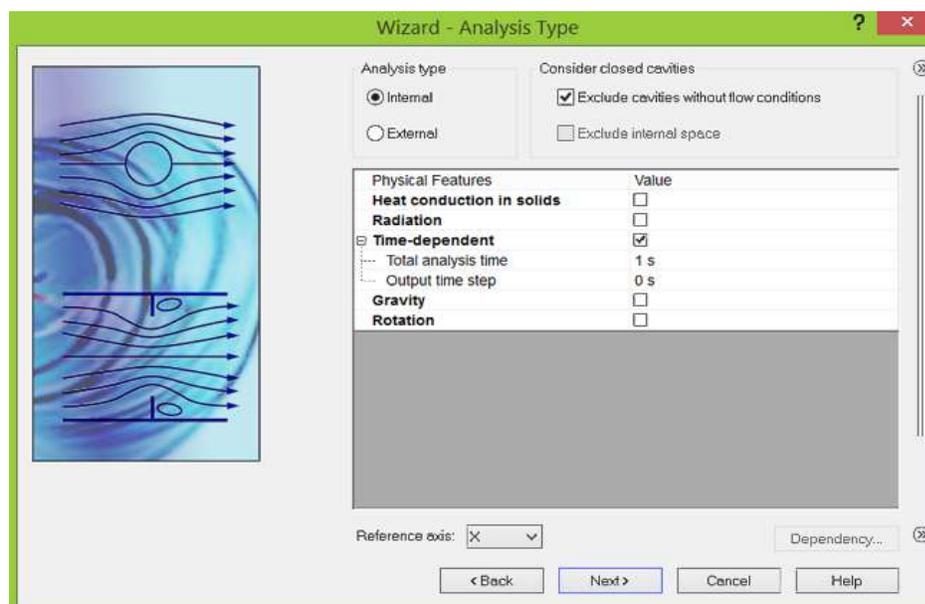


Figura 3.12: Ventana para la selección del tipo de análisis.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

- En la siguiente ventana se selecciona el tipo de fluido que va a inyectar la bomba. Para nuestro caso es *Diesel*.

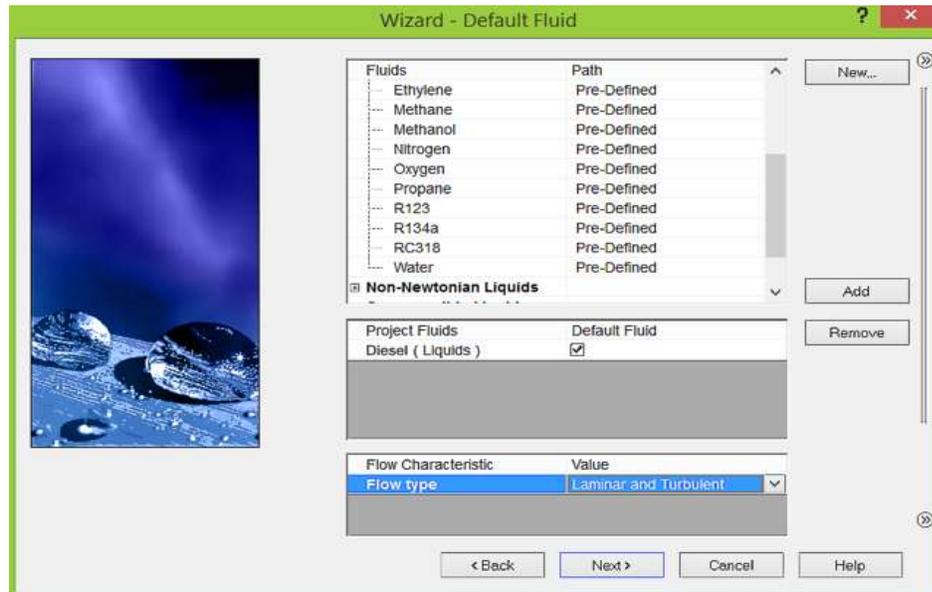


Figura 3.13: Selección del tipo de fluido.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

- Posteriormente se configura las condiciones ambientales iniciales de presión, temperatura y turbulencia.

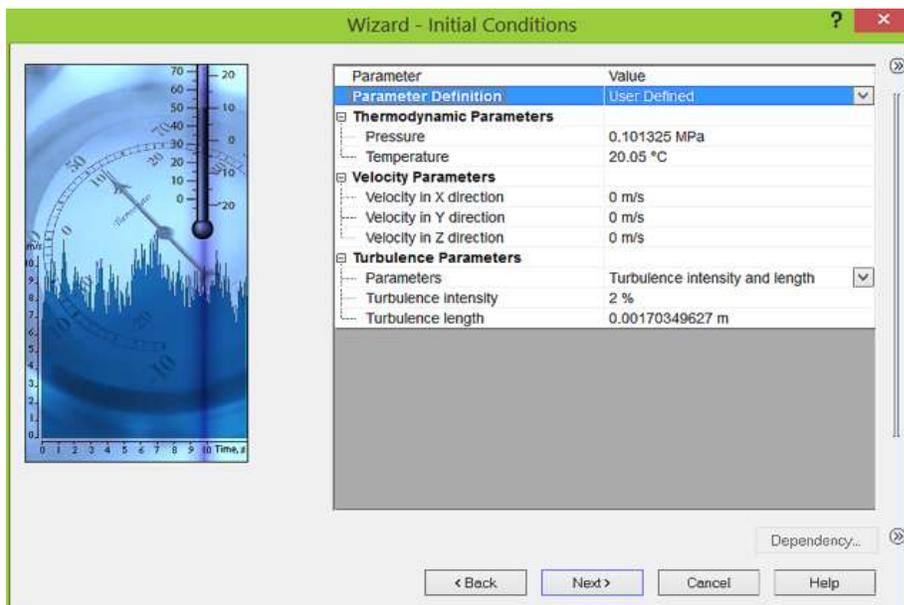


Figura 3.14: Configuración de las condiciones iniciales

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

- Finalmente en la siguiente pantalla configuramos la Geometría de Resolución y el Tamaño del Mallado en función del tamaño mínimo de la sección por la que tiene que atravesar el diesel.

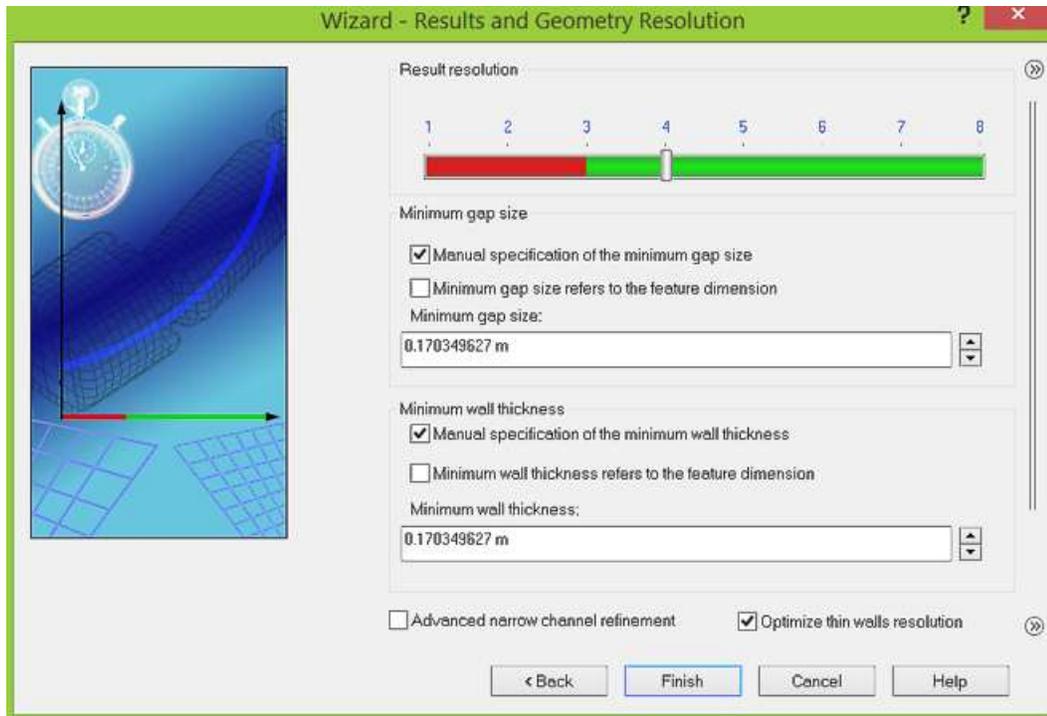


Figura 3.15: Configuración de la geometría y el tamaño del mallado

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez finalizada la configuración inicial del proyecto, el programa SolidWorks Flow Simulation crea un estudio para el análisis hidráulico del comprobador de inyectores, el mismo que nos permite ingresar y asignar de forma rápida y sencilla los diferentes parámetros de diseño iniciales.

Se configura los datos de presión y temperatura de entrada del diésel y se ejecuta los Solvers del programa. Una vez finalizada la ejecución de los Solvers del SolidWorks se procede a generar los resultados del análisis que son de interés en el estudio del comprobador de inyectores, en forma gráfica y tablas de Excel.

3.4.2 RESULTADOS

a) Presión total

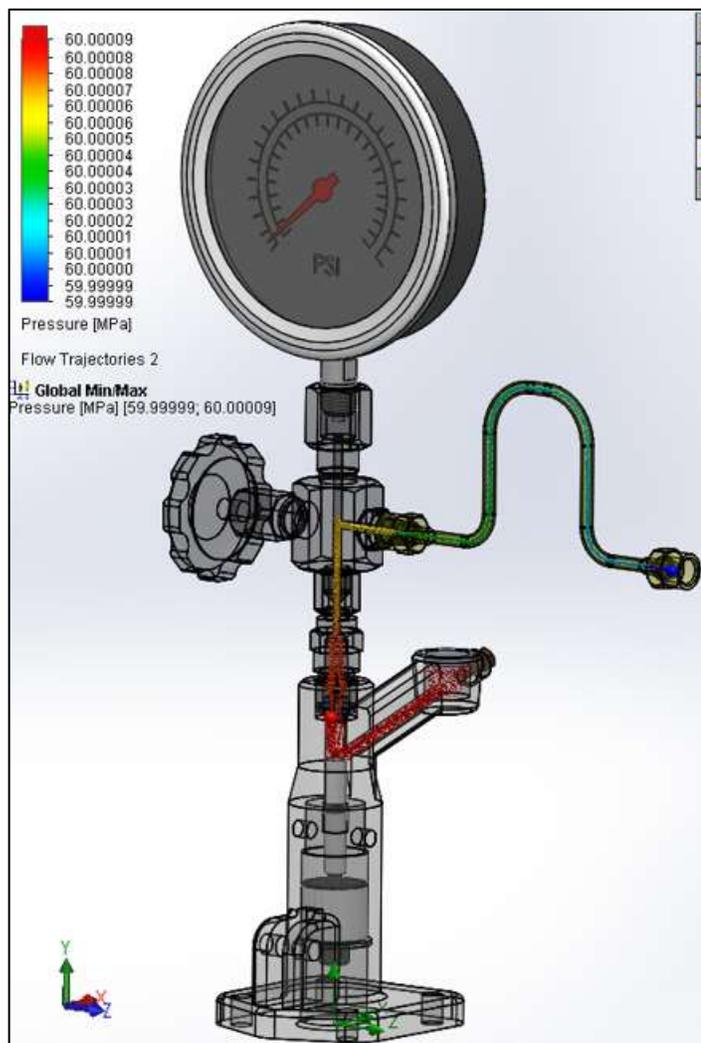


Figura 3.16: Diagrama de presión total

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Del diagrama de presión total se determina que la presión total varía, desde un valor máximo de 60.00009 MPa a la entrada del diesel hasta un valor mínimo de 59,99998 MPa a la salida, es decir, la caída de presión es de 110 MPa, el mismo que se considera que es casi despreciable.

b) Velocidad del diésel

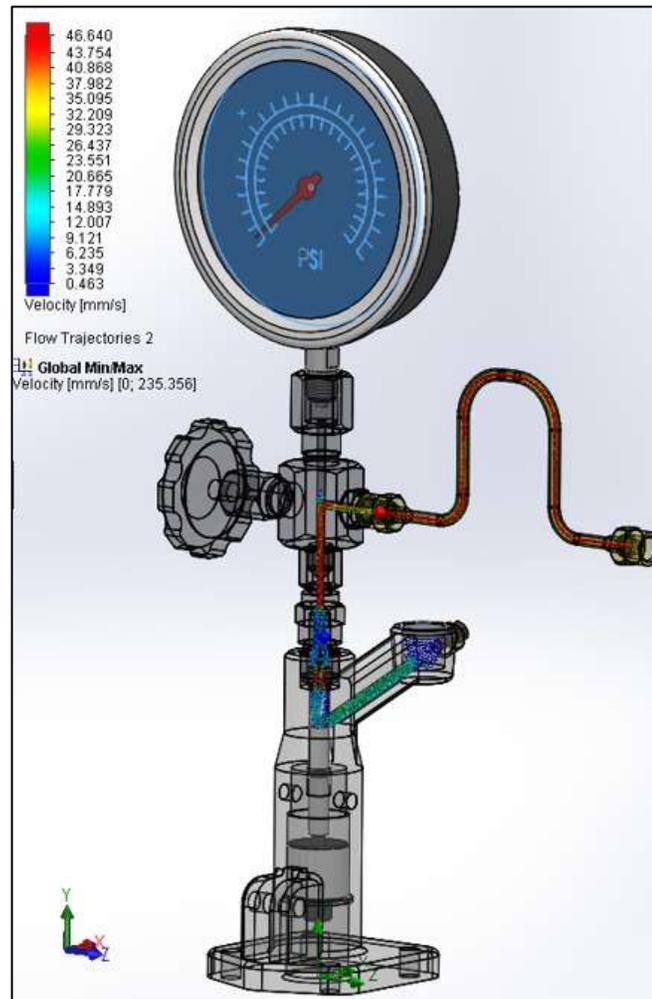


Figura 3.17: Distribución de velocidades

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Esta caída de presión representa las pérdidas por fricción que se producen cuando al aire atraviesa las diferentes secciones de la bomba de inyección.

En la figura 3.17 se muestra la distribución de velocidades en las diferentes secciones de la bomba de inyección, las mismas que varían desde una velocidad máxima de 46.64 m/s en las áreas con menor sección transversal hasta una velocidad mínima de 0.463 m/s en la zona de entrada del diésel a la bomba de inyección.

3.5. PARÁMETROS CONSIDERADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR PIEZO ELÉCTRICO

3.5.1 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Partiendo de las especificaciones técnicas que tienen dispositivos semejantes existentes (anexo C), y de los requerimientos funcionales del banco a continuación se describen los principales parámetros que influyen en el diseño mecánico e hidráulico del banco.

Tabla 3.2: Parámetros de funcionamiento sistema hidráulico

PARÁMETROS SISTEMA HIDRÁULICO	
Presión máxima de inyección (P)	60 MPa (600 bares)
Capacidad del depósito de combustible	1 litro (1000 cm ³)
Tubería de inyección para alta presión	M 14 x 1.5
Factor de seguridad mínimo recomendado	3.0

3.5.2 PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Tabla 3.3: Parámetros de funcionamiento del inyector piezoeléctrico

PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DEL INYECTOR	
Tiempo de trabajo	200 us (variable depende modelo)
Tensión	100-400 V
Corriente	20 A(pico)
Resistencia	0.7 Ω (inyector)

Tabla 3.4: Parámetros de funcionamiento del driver de potencia

PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DEL DRIVER DE POTENCIA	
Tiempo de trabajo	10-1200 us
Tensión	160 V
Corriente	10-20 A(pico)
Resistencia	2.2ohm en serie al inyector por protección

3.6. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SIMULADOR

3.6.1 GENERALIDADES

En el presente proyecto se realizó los cálculos de diseño mecánico, selección de materiales, medidas y tolerancias, se utilizó elementos mecánicos tomando en cuenta su función específica la utilización más apropiada y el mantenimiento respectivo.

3.6.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

En este capítulo se habla del proceso de construcción de la estructura del simulador para inyectores piezoeléctricos, sus medidas se encuentran especificadas en los planos, sin embargo se describirá brevemente el proceso de corte y medidas de los materiales utilizados.

Se cortó tubo cuadrado de 30mm de diámetro por 2mm de espesor que servirá como el soporte de nuestro banco, el tipo de acero estructural ASTM A36, siendo un metal soldable y 5 pedazos de ángulo de 25x2 milímetros con una longitud de 500 milímetros, dos pedazos del mismo ángulo con una longitud de 80 milímetro para reforzar la estructura.

Se procedió a soldar con electrodo E6011 AGA, el tipo de suelda que se utilizo es SMAW, con un amperaje de 150 A.



Figura 3.18: Corte y soldado de la estructura.

Fuente: Cabascango, Dávila

Se utilizó dos planchas de tol negro de 1,16 x 1,4 milímetros, que se cortaron según las medidas de los planos, para recubrir toda la estructura.



Figura 3.19: Armado de la estructura parte superior.

Fuente: Cabascango, Dávila

Con una amoladora se desbaste los residuos dejados por la suelda. Se preparó el banco con un fondo plomo, antes de darle los acabados finales.



Figura 3.20: Pintado y terminado del banco.

Fuente: Cabascango, Dávila

3.6.3 ENSAMBLE DE LA BOMBA MANUAL

Una vez terminada la estructura, con la ayuda del manual de la bomba se ensambla e instalarlo en la estructura.

Primero se colocó los empaques que van en el cuerpo de la bomba, después el muelle sobre el pistón.



Figura 3.21: Elementos internos de la bomba.

Fuente: Cabascango, Dávila

Una vez armado el cuerpo de la bomba se colocó la parte superior que es el

manómetro, en el cual se mide la presión ejercida sobre el inyector.



Figura 3.22: Ensamble de la bomba.

Fuente: Cabascango, Dávila

3.7 DISEÑO ELÉCTRICO

3.7.1 DEFINICIÓN DE ELECTRÓNICA

(Svoboda, 2007) “Área de la ciencia y la tecnología que trata de los fenómenos físicos que tienen lugar al producirse el movimiento de partículas cargadas en el vacío, los gases y los semiconductores.”

Da soporte a las tecnologías de la información, es decir, tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, procesado, comunicación y presentación de datos contenidos en todo tipo de señales físicas (acústicas, ópticas, eléctricas, etc...).

3.7.2 CONVERTIDORES DC A DC:

(Svoboda, 2007) “Se llama convertidor DC-DC a un dispositivo que transforma corriente continua de una tensión a otra. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, la mayoría de las veces con limitación de corriente. Se tiende a utilizar frecuencias de conmutación cada vez más elevadas porque permiten reducir la capacidad de los condensadores, con el consiguiente beneficio de volumen, peso y precio.”

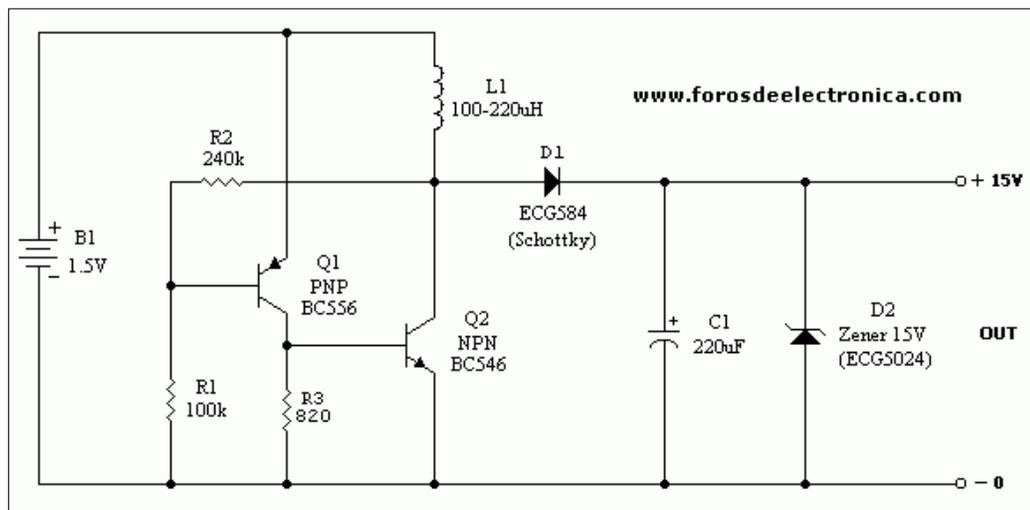


Figura 3.23: Convertidor DC-DC

Fuente: Boylestad R.

Ventajas de utilizar convertidores DC-DC

Simplifican la alimentación de un sistema, porque permiten generar las tensiones donde se necesitan, reduciendo la cantidad de líneas de potencia necesarias. Además permiten un mejor manejo de la potencia, control de tensiones de entrada, aumento de armónicas y un aumento en la seguridad.

Inconvenientes

Generan ruido, No sólo en la alimentación regulada, sino que a través de su línea de entrada se puede propagar al resto del sistema. También se puede propagar por radiación. Frecuencias más altas simplifican el filtrado de este ruido.

3.7.3 TIPOS DE CONVERTIDORES DC-DC

(Svoboda, 2007) “Son varios los tipos de convertidores DC-DC existentes. Normalmente se clasifican en tres grupos: los que disminuyen la tensión a su salida (convertidor reductor), los que aumentan la tensión a su salida (convertidor elevador) y los que son capaces de realizar ambas funciones.”

a) Reductores: Convertidor Buck

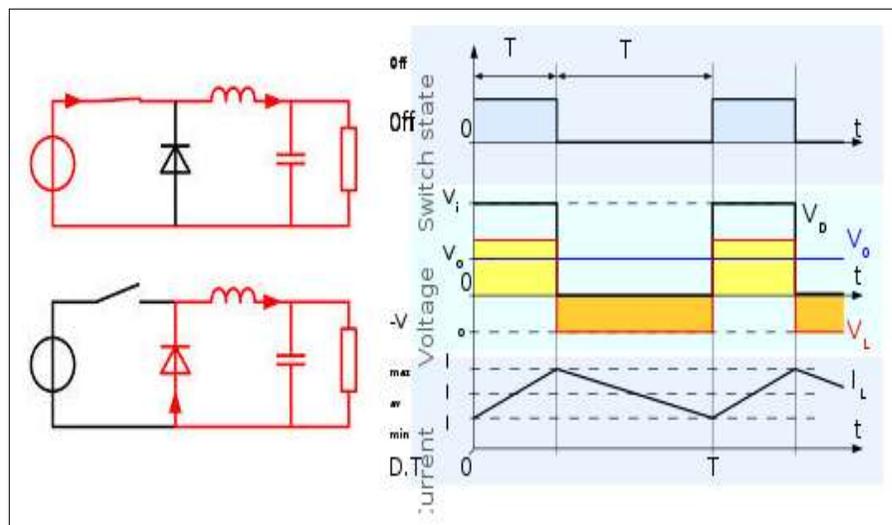


Figura 3.24: Convertidor Buck

Fuente: Foros de electrónica

b) Elevadores: Convertidor Boost

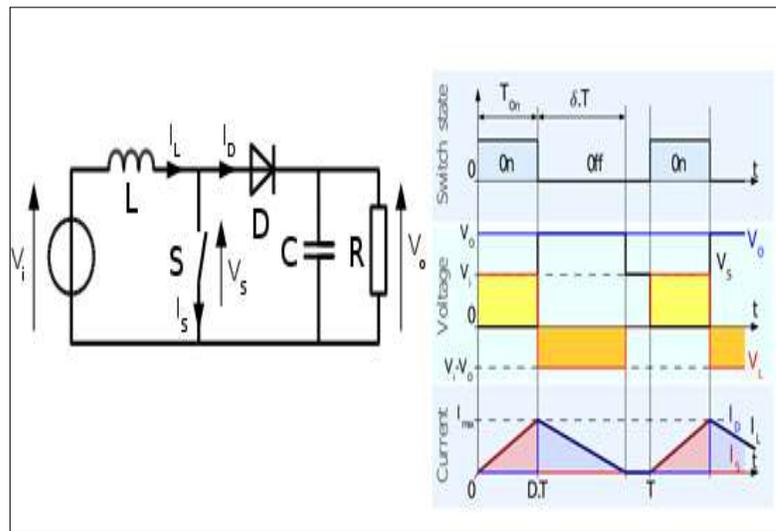


Figura 3.25: Convertidor Boost

Fuente: Foros de electrónica

c) Reductores-Elevadores: Convertidor Buck-Boost, Convertidor Flyback, Convertidor Cuk.

Para el diseño de nuestro sistema trabajamos con los conversores elevadores. El principio básico del convertidor Boost consiste en dos estados distintos dependiendo del estado del interruptor S (ver fig. 3.20):

- Cuando el interruptor está cerrado (On-state) la bobina L almacena energía de la fuente, a la vez la carga es alimentada por el condensador C.
- Cuando el interruptor está abierto (Off-state) el único camino para la corriente es a través del diodo D y circula por el condensador (hasta que se carga completamente) y la carga.

Existen dos situaciones de funcionamiento: Modo continuo (toda la energía se transfiere a la carga, sin llegar a que la corriente se anule), y Modo Discontinuo (la carga consume menos de lo que el circuito puede entregar en un ciclo).

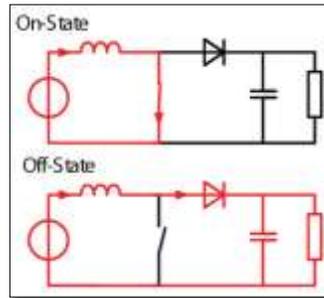


Figura 3.26: Convertidor Buck-Boost

Fuente: Foros de electrónica

Figura 3.21. Las dos configuraciones de un Boost. (a) La energía se transfiere de la fuente a la bobina y del condensador a la carga. (b) la energía se transfiere de la fuente y de la bobina al condensador y a la carga.

3.8 ELECTRÓNICA PROGRAMABLE

(Jaeger, 2005) “Se trata la electrónica programable, que siempre va de la mano con las diferentes ciencias y tecnologías en otras áreas, en este caso con la mecánica automotriz.

La electrónica programable es una parte de la electrónica en general que se encarga de resolver y analizar problemas comunes para dar una solución definida por el programador a determinadas situaciones.”

3.8.1 PLATAFORMA ARDUINO



Figura 3.27: Placa plataforma Arduino

Fuente: Cursos de robótica

(Jaeger, 2005) “Arduino es un hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.”

Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8, atmega2560 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque (bootloader) que corre en la placa.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software del ordenador (por ejemplo: Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data). Las placas se pueden montar a mano o adquirirse.

3.8.2 DISEÑO DE HARDWARE:

Para esta etapa que es una de las más complicadas y donde el desarrollador de un sistema que interactúa con actuadores en este caso de tipo piezoeléctricos, se ve obligado a recurrir a información de bancos existentes, controles o comúnmente conocidos como ECU's, y por último a mediciones en tiempo real de los actuadores, para poder implementar los circuitos necesarios para el control de este tipo de inyectores que son de cierta manera elementos que responden a ciertas características eléctricas de acuerdo a su constitución interna todo lo anterior se resume a continuación en varias etapas bien definidas:

- Placa de control (ECU mejorado)
- Placa de soporte LCD20x4
- Placa driver de potencia
- Conversor dc a dc tipo boost
- Fuente de poder (Fuente Switching para PC)

3.9 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL SIMULADOR DE PULSOS

Se calculó la corriente del led del opto acoplador PC817 y lo que es la configuración Darlington de la salida del mismo acoplador óptico:

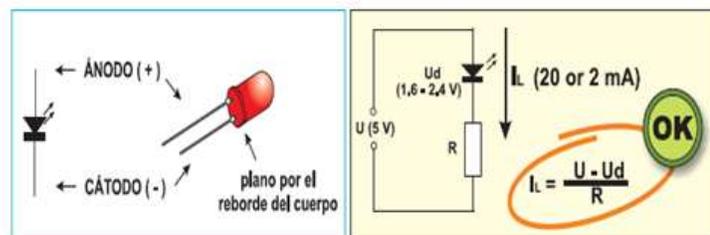


Figura 3.28: Esquema led orto acoplador
Fuente: Arduino Curso práctico de formación

(Floyd, 2006) “La corriente I_L es igual a el voltaje de la salida del pin del Arduino en este caso 5 voltios – el valor que consume el diodo en el caso del PC817 1.4v típico sobre la resistencia en serie que se necesite de acuerdo al máximo amperaje que soporte el pin del microcontrolador o del Arduino, en este caso un valor promedio es de 20 mA para no sobre saturar la salida y que el pin no sé queme.”

$$I_L = \frac{U - U_d}{R}$$

Ecuación 3.7

I_L = Corriente

U = Voltaje de salida Arduino

U_d = Voltaje consume del diodo PC817

R = Resistencia

$$20 \text{ mA} = \frac{5V - 1.4V}{R}$$

$$R = 180\Omega$$

Como la resistencia más convencional es la de 220 ohm simplemente optamos por esa para que baje en algo la corriente de paso quedando una corriente igual a 16mA.

Satisfaciendo el control o encendido del diodo interno del acoplador óptico.

Transistor Darlington:

(Floyd, 2006) “En electrónica, el transistor Darlington o AMP es un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en un tándem (a veces llamado par Darlington) en un único dispositivo.”

Comportamiento

(Floyd, 2006) “Esta configuración sirve para que el dispositivo sea capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente y, al poder estar todo integrado, requiere menos espacio que dos transistores normales en la misma configuración. La ganancia total del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales. Un dispositivo típico tiene una ganancia en corriente de 1000 o superior. También tiene un mayor desplazamiento de fase en altas frecuencias que un único transistor, de ahí que pueda convertirse fácilmente en inestable. La tensión base-emisor también es mayor, siendo la suma de ambas tensiones base-emisor, y para transistores de silicio es superior a 1.2V.”

La beta de un transistor o par Darlington se halla multiplicando las tensiones de los transistores individuales. La intensidad del colector se halla multiplicando la intensidad de la base por la beta total.

$$\beta_{Darlington} = \beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 + \beta_2 \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde:

$$\beta_{Darlington} = \text{Tension total}$$

$$\beta_1 = \text{Tension transistor 1}$$

$$\beta_2 = \text{Tension transistor 2}$$

$$\beta_{Darlington} = 200 \cdot 200 + (200 + 200)$$

$$\beta_{Darlington} = 40000 + 400$$

$$\beta_{Darlington} = 40400$$

Si β_1 y β_2 son suficientemente grandes, se da que:

$$\beta_{Darlington} \approx \beta_1 \cdot \beta_2$$

Un inconveniente es la duplicación aproximada de la base-emisor de tensión. Ya que hay dos uniones entre la base y emisor de los transistores Darlington, el voltaje base-emisor equivalente es la suma de ambas tensiones base-emisor:

$$V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2} \approx 2V_{BE1} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

V_{BE} = Voltaje base – emisor total

V_{BE1} = Voltaje base – emisor 1

V_{BE2} = Voltaje base – emisor 2

$$V_{BE} = 0.65V + 0,65V$$

$$V_{BE} = 1.4V$$

Para la tecnología basada en silicio, en la que cada V_{BE1} es de aproximadamente 0,65 V cuando el dispositivo está funcionando en la región activa o saturada, la tensión base-emisor necesaria de la pareja es de 1,4 V.

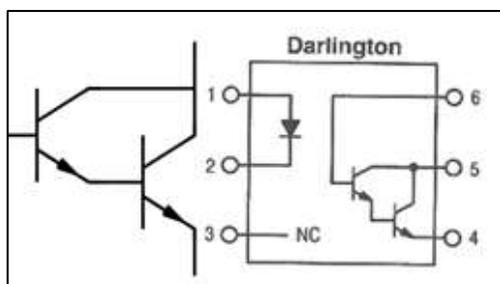


Figura 3.29: Esquema transistor Darlington
Fuente: Manual ECG Electrónica

Por lo tanto según la hoja de datos la corriente que maneja el sistema simplemente la elevamos un poco para estar seguros de que servirá para excitar la placa de potencia o driver que viene a continuación explicado. Por otro lado en la etapa de salida del pc817 simplemente al estar alimentado a 12 voltios el transistor de salida se consigue acoplar que con un voltaje de entrada de 5v desde la tarjeta de control se pueda transformar a 12v para el mando de la siguiente etapa de potencia.

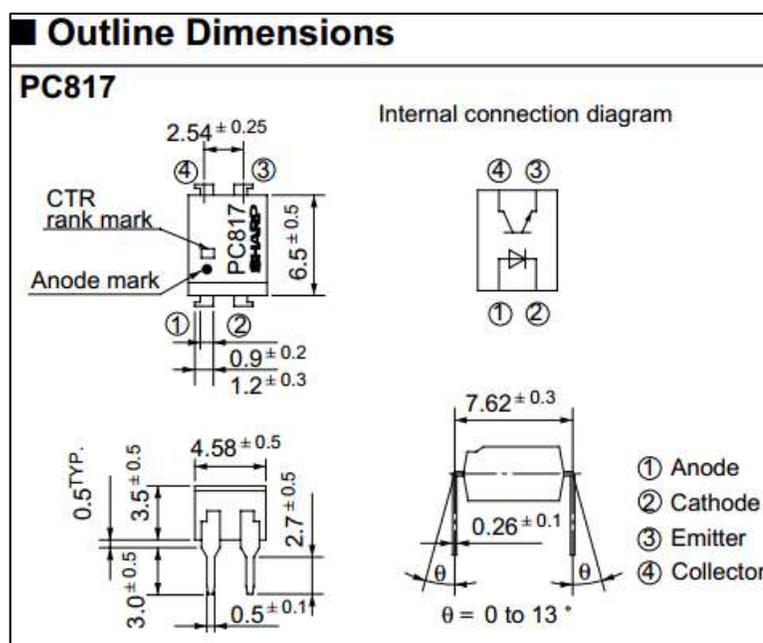


Figura 3.30: Características del diodo Opto acoplador
Fuente: Manual ECG Electrónica

Tabla 3.5: Características del diodo Opto acoplador

SHARP				
Absolute Maximum Ratings		(Ta= 25°C)		
PARAMETER		SYMBOL	RATING	UNIT
Input	Forward current	I_F	50	mA
	Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector- voltage	V_{CEO}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
Total power dissipation		P_{tot}	200	mW
Isolation voltage		V_{iso}	5000	V_{rms}
Operating temperature		T_{opr}	-30 + 100	°C
Storage temperature		T_{stg}	-55 +125	°C
Soldering temperature		T_{sol}	260	°C

Placa de control (ECU mejorado)

En esta etapa se procede a implementar un escudo seleccionado es este caso un Arduino mega 2560, el cual posee una etapa de alimentación que estabiliza y filtra el voltaje de alimentación a todo el sistema de control, se la presenta a continuación en la figura 3.31:

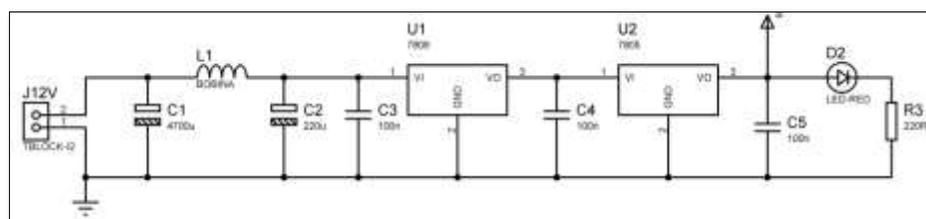


Figura 3.31: Fuente de alimentación y filtro.
Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Al pretender que el banco de inyectores sea un modelo de enseñanza y verificación de diferentes factores como son la frecuencia, tiempos de descanso y número de inyecciones, se debe implantar un tipo de entrada de datos o señales eléctricas de 0 ó 5 voltios para que el controlador acepte como parámetros de trabajo ya sean estos de incremento o decremento de variables, número de repeticiones , etc., en la siguiente figura 3.32, se presenta el diagrama eléctrico de las entradas de cada botón que previamente se explicó en la programación:

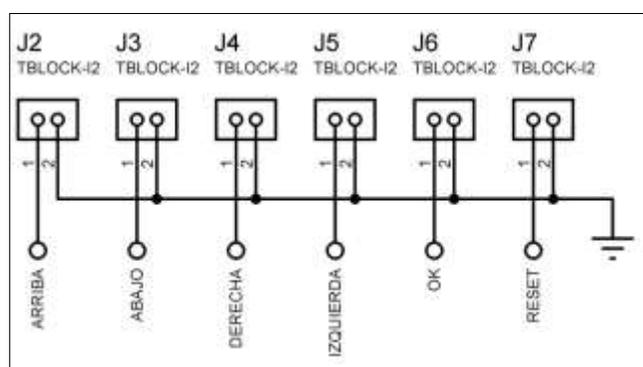


Figura 3.32: Conectores para los botones de manipulación

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

A continuación se presenta en la figura 3.33, el diagrama correspondiente al conector de 3 pines para el envío de los pulsos hacia el driver de potencia que posteriormente se explicara:

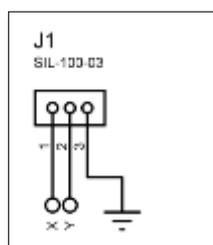


Figura 3.33: Diagrama eléctrico de conexiones.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

En la siguiente figura 3.34, se puede ver el diagrama de conexiones para el módulo lcd20x4, que sirve para la interacción entre el usuario y el banco de pruebas:

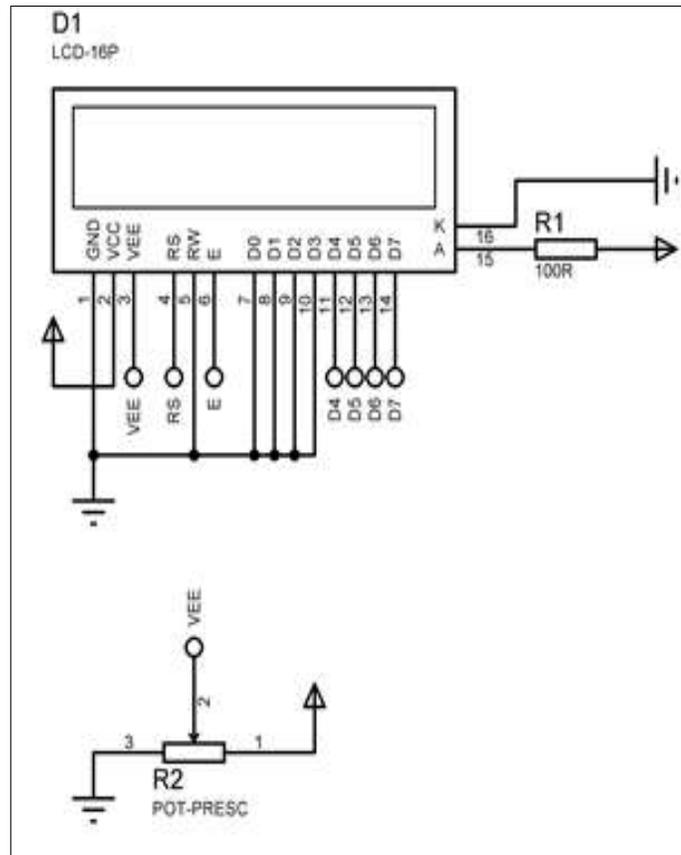


Figura 3.34: Esquema eléctrico de conexiones de LCD20x4.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Continuamos con el diagrama de conexiones para los leds que van incrustados en la placa de control dichos leds sirve para ver el arranque del sistema y las secuencias de inicio del mismo, en la figura 3.35, se puede observar dicho diagrama de conexiones:

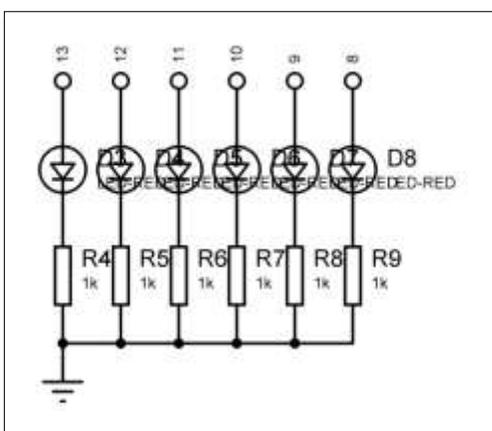


Figura 3.35: Diagrama de conexiones de los leds de estado.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Para finalizar tenemos el diagrama de conexiones al cual las figuras anteriores se conectan para dar lugar al sistema de control o la placa de control realizada con un arduino mega, en la figura 3.36, podemos observarlo:

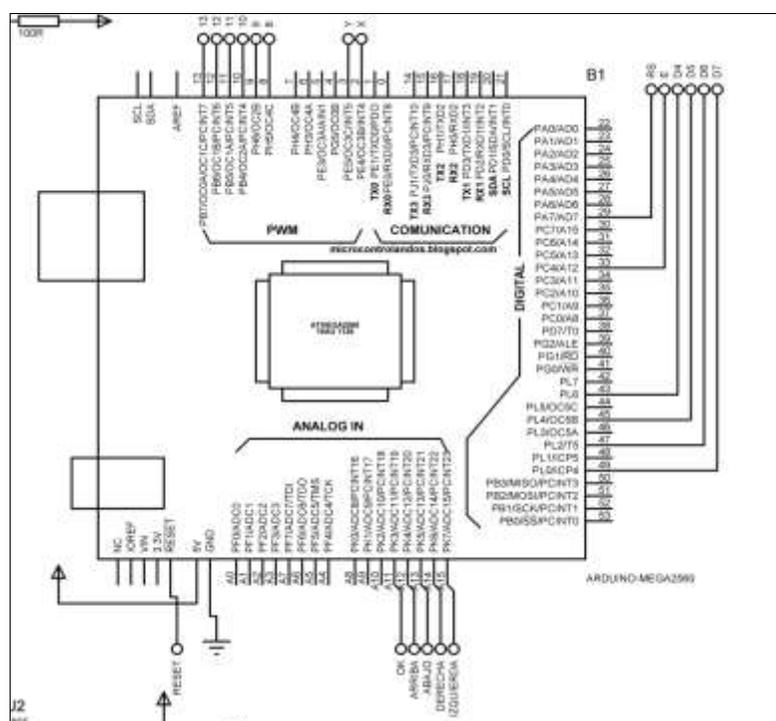


Figura 3.36: Diagrama de conexiones Arduino mega 2560.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

3.9.1 PLACA DE SOPORTE LCD20X4:

En esta etapa se pretende diseñar un adaptador para poder conectar el LCD20x4 que se consigue en el mercado de dispositivos electrónicos, se vio la necesidad de diseñar este adaptador o placa ya que el lcd que se puede obtener posee dos conectores de 16 pines y para poderlo utilizar correctamente se deben conectar en paralelo dichos pines ya que de lo contrario solo se puede manipular la mitad de arriba o de abajo según la selección de dichos pines en la figura 3.37, se muestra ese adaptador:

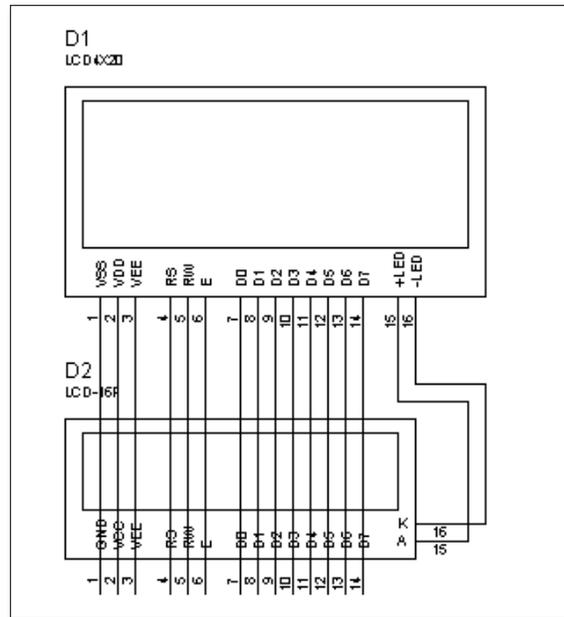


Figura 3.37: Diagrama de conexiones del adaptador.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

En la figura anterior no se observa algún elemento especial ya que da la impresión de dos pantallas interconectadas esto se puede ver de mejor manera en el circuito o diagrama de circuito impreso mostrados en la sección de anexos.

3.9.2 PLACA DRIVER DE POTENCIA

En base a toda la investigación previa se procede a realizar el siguiente diagrama eléctrico que no es más que un puente en forma de h para el manejo de los voltajes y corriente necesarios para la activación del inyector piezoeléctrico:

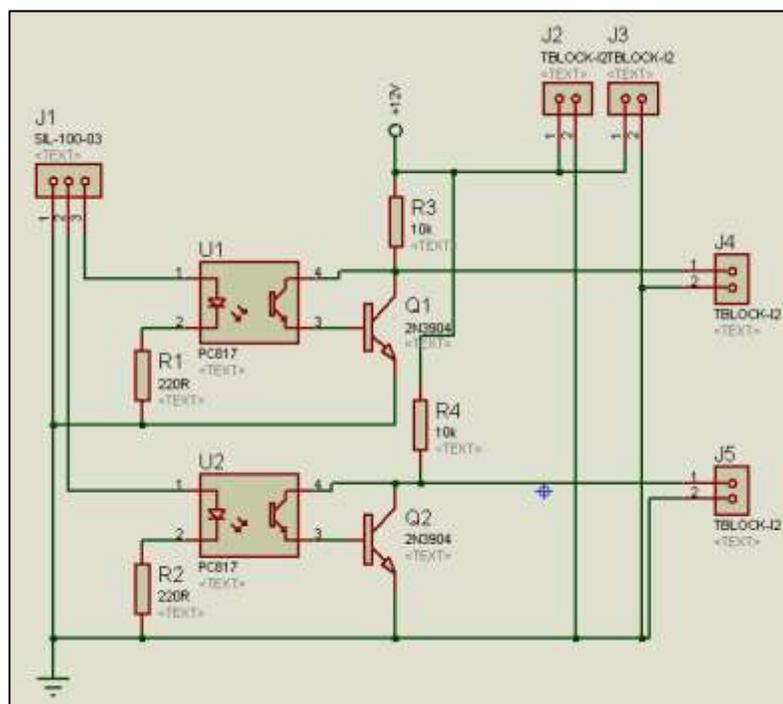


Figura 3.38: Diagrama de la etapa de potencia.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

El funcionamiento es relativamente sencillo, la placa de control genera las pulsaciones dependiendo de la frecuencia y tiempo de descanso en el controlador esta es enviada al driver de la figura anterior desacoplando voltajes de los pines a través de una etapa de opto acopladores de transistor como son los 4n25, de ahí cada señal es pasada a una compuerta inversora de señal para generar siempre un desfase de 180 grados para que siempre se genere un manejo de los voltajes de carga y descarga en el inyector piezoeléctrico a su vez si las señales se encuentran en un estado bajo, la placa de potencia se

encuentra en un estado de des habilitación o no funcionamiento.

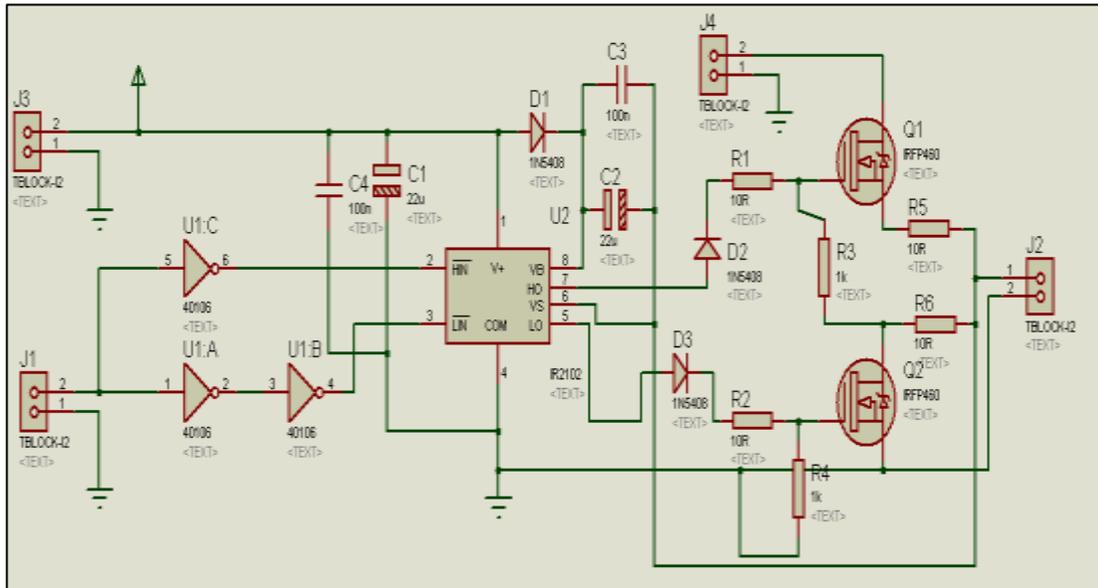


Figura 3.39: Placa de control

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

En esta etapa es necesario desfase el pulso de control ya que en un sentido de trabajo el mosfet que conecta la fuente de 160 voltios conduce en un instante y luego se deshabilita para conectar el mosfet que conecta la tierra de la misma fuente por otro lado el inyector que se conecta el la bornera j2 se encuentra unido entre la unión de los dos mosfets entre el source y drian respectivamente se incluyó dos resistencias en serie para evitar que si el driver maneja o se desconecta por algún caso fuera de lo normal una señal de ruido dichos mosfets no lleguen a su máximo tiempo de conexión y desconexión evitando un corto directo entre los terminales de la fuente en el otro caso solo se utiliza para cargar y descargar el inyector piezoeléctrico, el driver ir2102 simplemente es una gran ayuda al momento de manejar mosfets o igbts que son elementos de mayor potencia de trabajo.

Los datos del mosfet son:

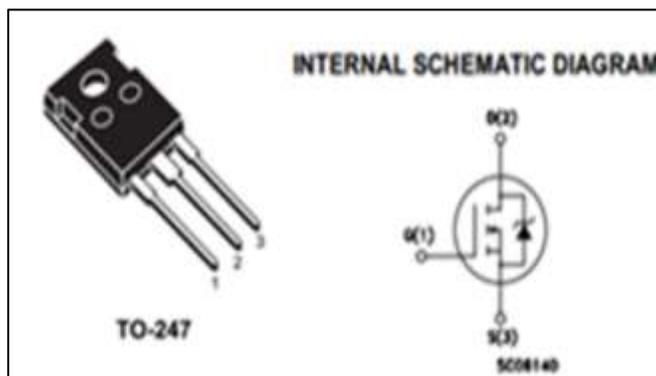


Figura 3.40: Esquema del transistor mosfets

Fuente: Manual ECG Electrónica

Como previamente se ha investigado el voltaje de los inyectores radica desde los 100v hasta los 400 voltios en los utilizados para el desarrollo del prototipo se los logro abrir con un valor de fuente de 160v y con corrientes de 20 amperios pico y 10 amperios de reposo en la transición de inyección por lo tanto revisando los datos anteriores del mosfet, tenemos que nominalmente soporta 500v a 18.4 amperios nominales y un pico de corriente alrededor de 73.6 amperios por lo que es más que suficiente para que dicho sistema no se queme en relación a estas necesidades del inyector.

En el primer caso el driver ordena al mosfet superior activarse por lo que en este instante puede fluir una corriente desde la fuente hacia el inyector y conectarse como un acumulador de voltaje en la figura que acontinuacion se muestra graficamente se detalla lo explicado:

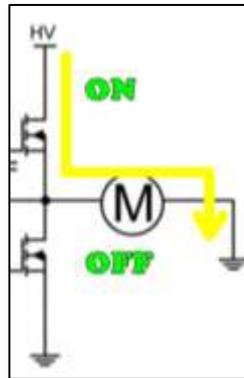


Figura 3.41: Circulación corriente desde la fuente hacia el inyector.

Fuente: Arduino Circuitos electronicos.

Luego de la carga se requiere descargar el inyector para generar la inyección con la cual se pretende abrir el elemento o aguja para poder dejar fluir los líquidos o el combustible, en la figura siguiente se ve este proceso gráficamente:

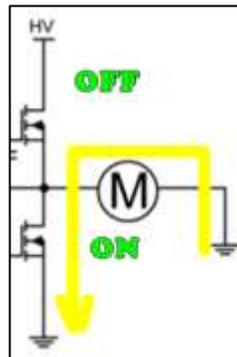


Figura 3.42: Descarga del inyector para generar la inyección.

Fuente: Arduino Circuitos electronicos.

Como se puede ver en letras verdes lo que realiza el driver es activar o desactivar cada Mosfet desfasado en su forma de activación entre encendido y apagado para ambos Mosfets generando dichas transiciones para la carga y descarga del inyector utilizado en el sistema.

3.9.3 FUENTES DE PODER (FUENTE SWITCHING PARA PC)

Se implementó 3 tipos de fuentes de corriente alterna a corriente continua dos de ellas son fuentes switching que manejan 12v en sus salidas una de ellas a 20 amperios que es la encargada de controlar la etapa de potencia para los drivers de activación y la otra de 12v y 16 amperios para la parte o etapa de control ya que se vio en la necesidad de separar fuentes ya que al activa con una sola todas las tarjetas existen transiciones y ruido por lo que se comenzaba a resetear el reinicializar el sistema de control

La fuente final es una rectificación de la toma eléctrica de 120v que tenemos convencionalmente en nuestro país para luego filtrarla y estabilizarla a 160 voltios y obtener la fuente de alto voltaje y corriente capaz de generar la apertura del inyector, por lo cual se descartó el confecciona o utilizar el elevador de voltaje de tipo boost converter y pasar eso por alto a continuación se explica el proceso para el cálculo de dicha fuente:



Figura 3.43: Fuente de pc con voltajes de 3v, 5v, 12v,-12v.

Fuente: Electronic-System

3.9.4 LISTA DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Tabla 3.6: Para la placa de control se utilizaron

PLACA DE CONTROL		
Resistencia R1	100	1
Resistencia R2 (Potenciómetro)	5k	1
Resistencia R3	220R	1
Resistencia R4-R9	1k	6
Condensador C1	4700u	1
Condensador C2	220u	1
Condensador C3-C5	1k	3
Circuito integrado U1	7808	1
Circuito integrado U2	7805	1
Diodos D1	LCD-16P	1
Diodo D2- D8	LED-RED	7

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Tabla 3.7: Elementos placa plataforma Arduino

PLATAFORMA ARDUINO		
Arduino-Mega2560 B1	5V	1
Espadín blanco con lado de tres pines J1		1
Bornera de 2 pines J2-J7		7
Bobina	12V	1
Espadín macho simple		4
Escudo para conexión de Arduino	Entrada 12V Regula 9V y 5V	1

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Tabla 3.8: Elementos placa acoplador de driver de potencia

ACOPLADOR DRIVER DE POTENCIA		
Resistencia R1-R2	220R	2
Resistencia R3-R4	10K	2
Circuito Integrado U1-U2	PC 817	2
Transistores Q1-Q2	2N3904	2
Espadín con lado 3 pines J1		1
Bornera de dos pines J2-J5		4

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Tabla 3.9: Elementos placa de potencia

DIVER DE POTENCIA		
Resistencia R1-R2-R5-R6	10k	4
Resistencia R3-R4	1k	2
Condensador C1-C2	22u	2
Condensador C3-C4	100n	2
Circuito integrado U1	40106	1
Circuito integrado U2	IR2102	1
Transistor Q1-Q2	IRFP460	2
Diodos D1-D3	Fr 207	3
Borneras J1-J4	TBLOCK-I2	4

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez diseñado el programa del simulador se elaboro las placas.

Se realizó los diagramas de cada placa y la simulación en el programa.

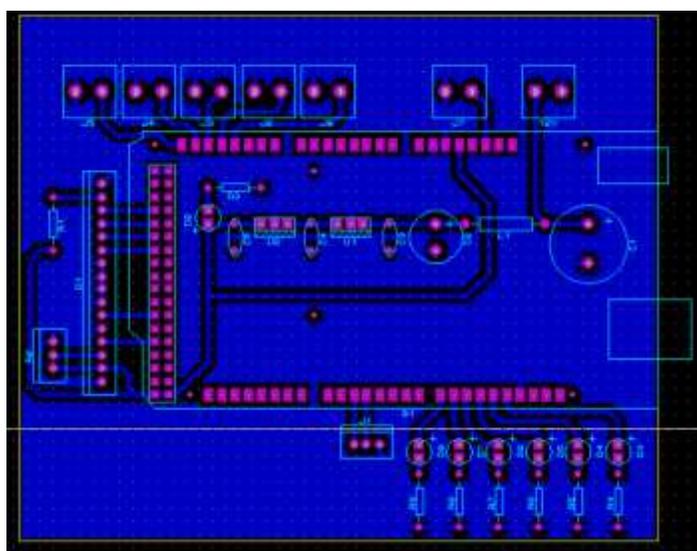


Figura 3.44: Placa de circuito impreso de control.

Fuente: Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

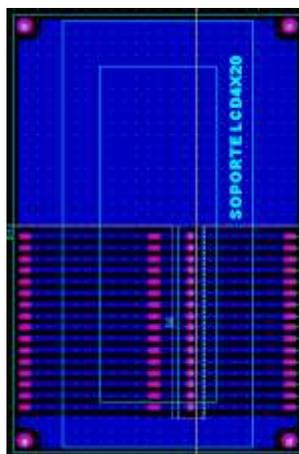
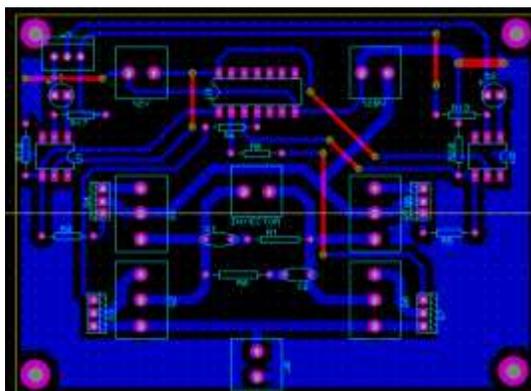


Figura 3.45: Placa del adaptador para LCD de 20x4
Fuente: Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena



Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

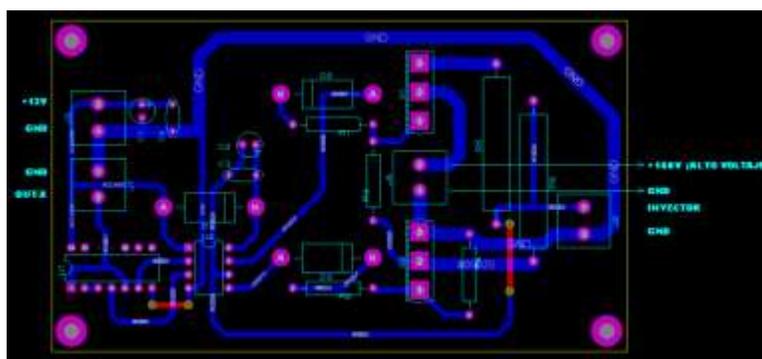


Figura 3.46: Placa de circuito impreso del driver de potencia.
Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez que se obtuvo los circuitos, se procedió con el diseño de cada placa en las baquelitas.

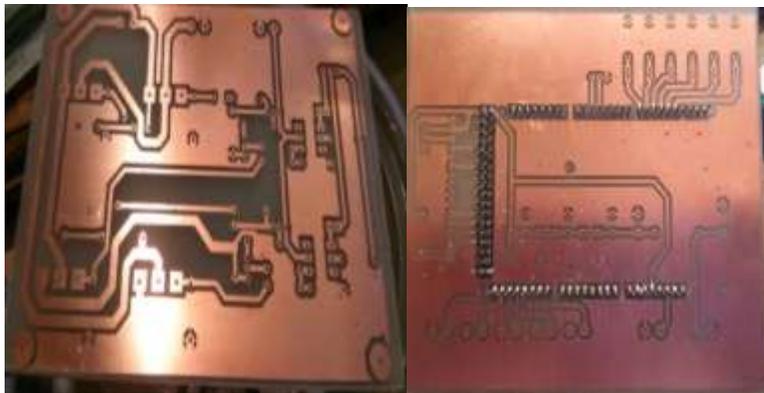


Figura 3.47: Impresión del circuito en baquelita.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez lista las placas se procedieron a soldar los elementos de cada una de las mismas y a su posterior comprobación.

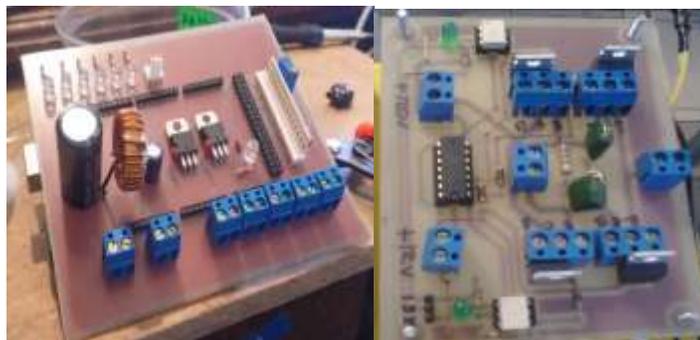


Figura 3.48: Ensamble de los circuitos eléctricos

Fuente: Cabascango, Dávila

3.9.5 SIMULADOR DE PRUEBAS DE INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS

Realizado los mantenimientos de mecánica, electricidad, electrónicos, el simulador tiene la siguiente presentación:

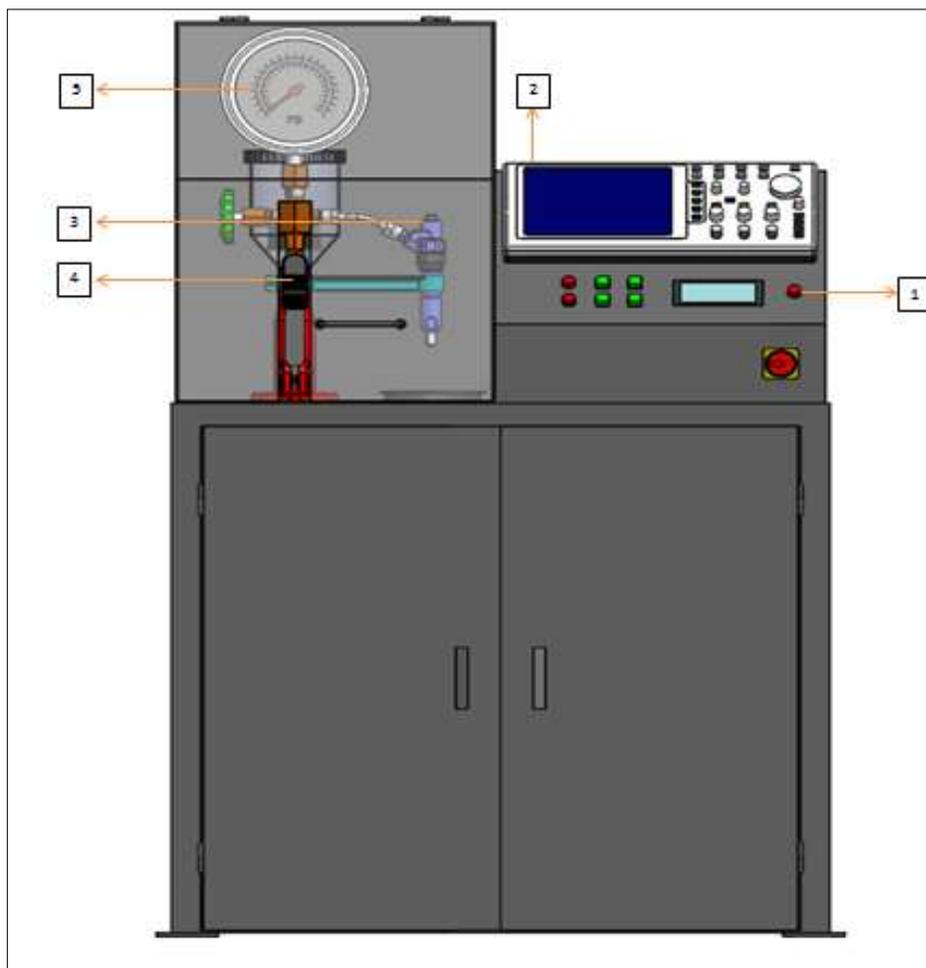


Figura 3.49: Esquema del simulador

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

- 1.- Botón de ON
- 2.- Botón encender osciloscopio
- 3.- Conexión Inyector
- 4.- Palanca de la bomba manual
- 5.- Manómetro de la bomba manual

Descripción de los pulsadores

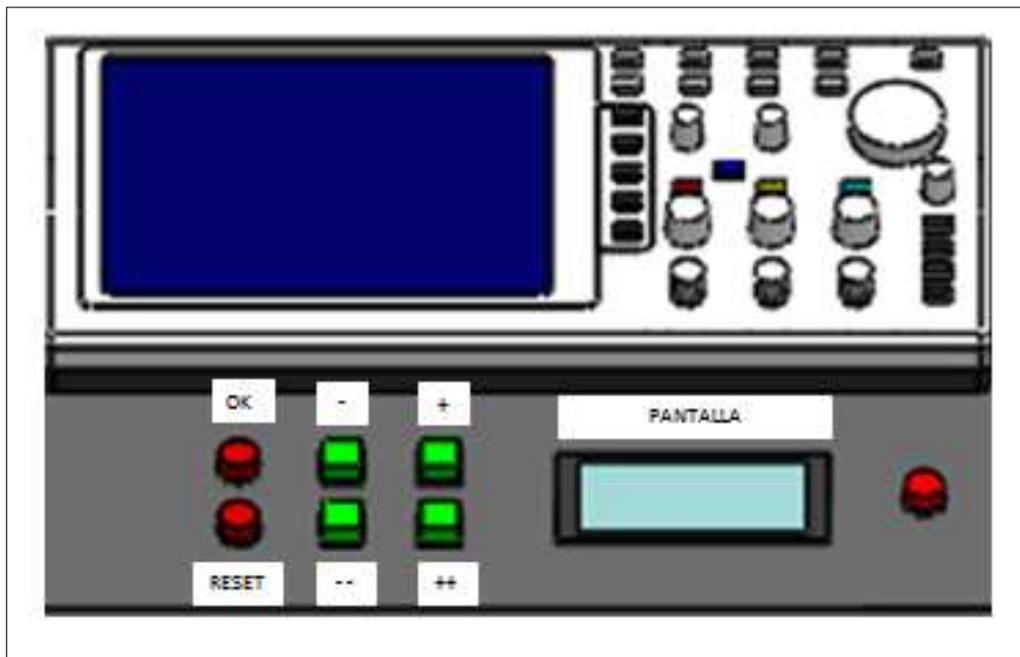


Figura 3.50: Esquema del control del simulador.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

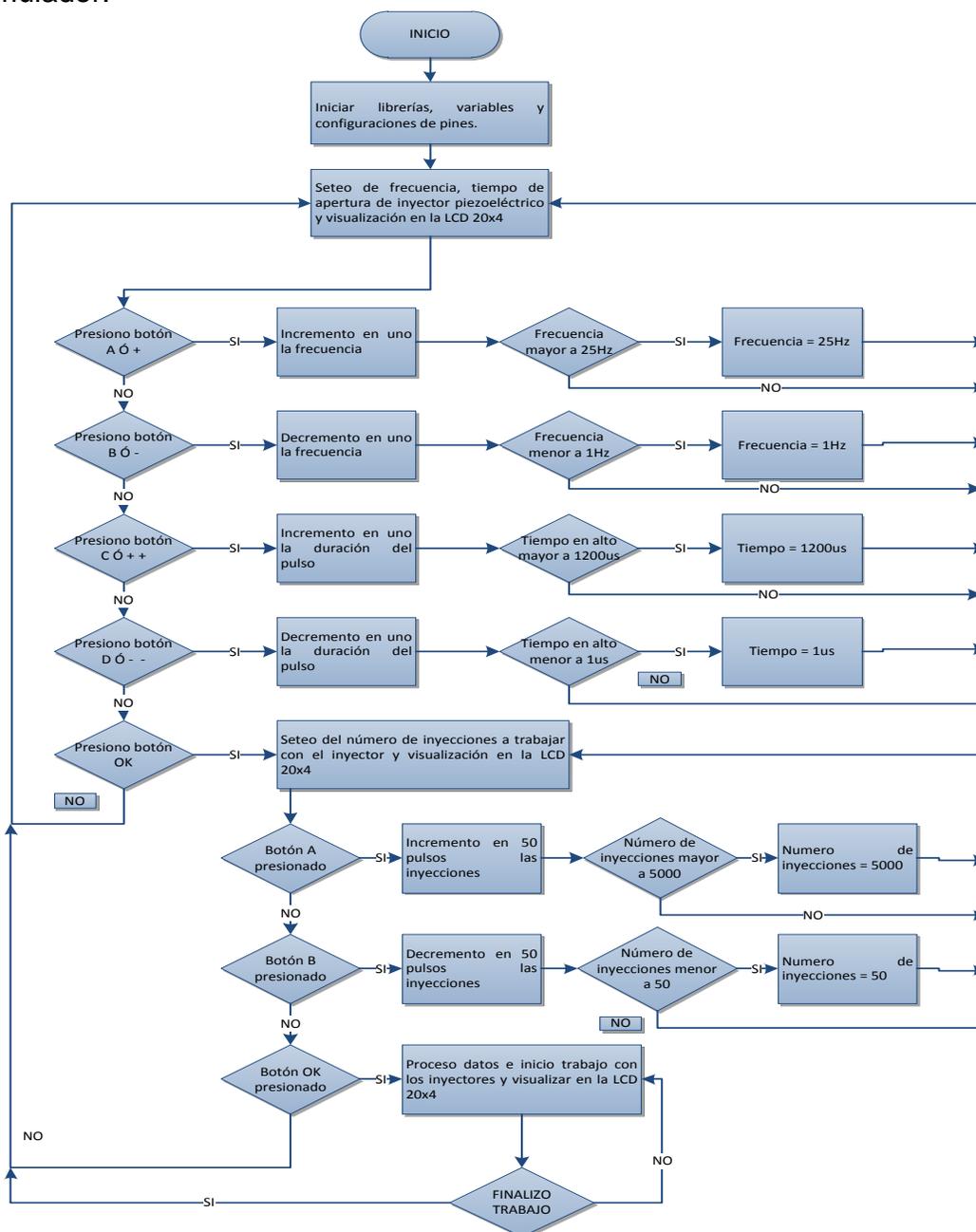
- 1.- Pulsador + incrementa el Configura la frecuencia o ancho de pulso del inyector.
- 2.- Pulsador ++ incrementa el pulso Configura el tiempo de trabajo de inyección
- 3.- Pulsador – Configura la frecuencia o ancho de pulso del inyector
- 4.- Pulsador – Configura el tiempo de trabajo de inyección
- 5.- Pulsador OK para iniciar la prueba
- 6.- Pulsador RESET para iniciar de nuevo el procedimiento
- 7.- Pantalla lcd.

CAPÍTULO IV

PROCEDIMIENTO, FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DEL SIMULADOR

4.1 PROCEDIMIENTOS

A continuación se presenta el diagrama de flujo el cual va a utilizar el simulador.



4.2 GUIA DE PRÁCTICA

 <p>ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA</p> <p>DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERA AUTOMOTRIZ HOJA DE PRACTICA DE INYECTOR PIEZOELÉCTRICO</p>			
PRÁCTICA N°	1	NOMBRE ALUMNO: CABASCANGO GABRIELA DÁVILA PAMELA	
TEMA:	VISUALIZACIÓN DE GRÁFICAS DEL INYECTOR EN EL OSCILOSCOPIO		
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRACTICA:.....	FECHA DE ENTREGA DE LA PRÁCTICA:.....	CALIFICACIÓN:	

1.- OBJETIVOS:

Visualizar las gráficas de operación del inyector piezoeléctrico en el osciloscopio.

Simular el funcionamiento del inyector para obtener las gráficas de operación mediante el osciloscopio.

Realizar un diagnóstico eficiente mediante la realización de la presente prueba.

Comprender el funcionamiento del simulador y del funcionamiento de sus pruebas.

2.- EQUIPO:

- Equipo de diagnóstico simulador
- Inyector de prueba piezoeléctrico
- Osciloscopio
- Herramientas manuales

3.- DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

- Instalar el inyector piezoeléctrico al equipo de pruebas.
- Realizar la conexión eléctrica del inyector

- Verificar el nivel de combustible del depósito, completar si es necesario.
- Revisar la fuente de alimentación eléctrica de 110V
- Pulsar el botón ON energizar
- Encender osciloscopio para pruebas señales
- Calibrar el osciloscopio canal 100v por división, mayor resolución canal 10vx10
- Escoger el tiempo adecuado en ms.
- Seleccionar del menú interno digital o control configura la frecuencia o ancho de pulso, para incrementar +, decremento – , para incrementar tiempo de trabajo de inyecciones ++, decremento --.
- Colocar la probeta para recoger el combustible pulverizado.
- Elevar la presión de prueba a 240, 300, 400 Bar mediante el accionamiento manual de la palanca del equipo.
- Conectar las puntas de prueba del osciloscopio al inyector piezoeléctrico (la dos puntas deben colocarse al inyector)
- Presionar ok para iniciar la prueba de activación
- Registrar los valores en la tabla de pruebas la medida de voltaje, corriente y tiempo en la curva que genera el inyector cuando se trabaja a 240, 300, 400 Bar, para la preinyección e inyección principal.

Presión de prueba	240 bar	300 bar	400bar
Voltaje			
Corriente			
Tiempo			

- Pulsar la función HOLD en cada prueba para obtener la curva de operación en voltaje, corriente en función del tiempo para cada prueba.
- Grabar las curvas obtenidas para presentarlas en el análisis de resultados.

- Despresurizar el sistema
- Desmontar el inyector
- Mantener el orden y limpieza de simulador de pruebas y del laboratorio.
- Desarrollar el análisis de resultados.

4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:

De las mediciones realizadas como influye la presión respecto al voltaje y tiempo de activación.

De las mediciones realizadas como influye la presión respecto a la corriente y tiempo de activación.

De las gráficas obtenidas en el osciloscopio, analice el desempeño de cada una de ellas y establezca un diagnóstico.

Como es el comportamiento de la corriente voltaje y tiempo de activación en la preinyección e inyección principal.

5.- CUESTIONARIO:

1. ¿Cite las características principales que dispone un inyector piezoeléctrico?
2. ¿Qué marcas y modelos utilizan inyectores piezoeléctricos en su sistema crdi?
3. ¿Obtenga patrones de curvas de voltaje corriente vs tiempo y compárelos con los obtenidos en la práctica.
4. ¿Consultar especificaciones de presión para la operación de sistema crdi con inyectores piezoeléctricos?
5. ¿Esquematice y explique el principio de operación de inyectores piezoeléctricos?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA.

		
DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERA AUTOMOTRIZ HOJA DE PRACTICA DE INYECTOR PIEZOELÉCTRICO		
PRÁCTICA N°	2	NOMBRE ALUMNO: CABASCANGO GABRIELA DÁVILA PAMELA
TEMA:	PRUEBA DE PULVERIZACIÓN Y CAUDAL	
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:.....	FECHA DE ENTREGA DE LA PRÁCTICA:.....	CALIFICACIÓN:

1.- OBJETIVOS:

- Realizar la prueba de pulverización a diferentes presiones
- Simular el funcionamiento del inyector a través de la prueba de pulverización.
- Establecer los parámetros de operación del inyector cuando se somete a diferentes condiciones de pulverización.

2.- EQUIPO:

- Equipo de diagnóstico simulador
- Inyector de prueba piezoeléctrico
- Osciloscopio
- Bomba manual
- Herramientas manuales

3.- DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Instalar el inyector piezoeléctrico al equipo de pruebas
- Realizar la conexión eléctrica del inyector
- Verificar el nivel de combustible del depósito, completar si es necesario
- Revisar la fuente de alimentación eléctrica de 110V
- Pulsar el botón ON energizar
- Encender osciloscopio para pruebas señales

- Calibrar el osciloscopio canal 100v por división, mayor resolución canal 10vx10
- Escoger el tiempo adecuado en ms.
- Seleccionar del menú interno digital o control configura la frecuencia o nacho de pulso para incrementar +, decremento –para incrementar tiempo de trabajo de inyecciones ++, decremento --.
- Colocar la probeta para recoger el combustible pulverizado
- Elevar la presión de prueba a 240, 300, 400 Bar mediante el accionamiento manual de la palanca del equipo.
- Presionar OK para iniciar la prueba de activación
- Registrar los valores en la tabla de las pruebas de caudal y pulverización que genera el inyector cuando se trabaja a 240, 300,400 Bar.

Presión de prueba	240 bar	300 bar	400bar
Caudal			
pulverización			
Tiempo ejecución de la prueba			

- Pulsar la función HOLD en cada prueba para obtener el análisis de operación de caudal y pulverización.
- Despresurizar el sistema
- Desmontar el inyector
- Mantener el orden y limpieza del simulador de pruebas y del laboratorio
- Desarrollar el análisis de resultados.

4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- De las mediciones realizadas como influye la presión respecto al caudal.
- De las mediciones realizadas como influye la presión respecto a la pulverización.
- Como es el comportamiento del caudal y tiempo en la inyección.

5.- CUESTIONARIO:

1. ¿De qué manera influye la pulverización del combustible en el desempeño del motor y la reducción de emisiones de acuerdo a la geometría de los orificios del inyector?
2. ¿Cómo influye la pulverización en la formación de HC y hollín?
3. ¿Explique de qué manera está configurado la geometría de los orificios del inyector?
4. ¿De qué manera optimizan el sistema de riel en la geometría del inyector?

CONCLUSIONES:**RECOMENDACIONES:****BIBLIOGRAFÍA:**

 <p>ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA</p> <p>DEPARTAMENTO DE ENERGIA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ HOJA DE PRÁCTICA DE INYECTOR PIEZOELÉCTRICO</p>		
PRÁCTICA N°	3	NOMBRE ALUMNO: CABASCANGO GABRIELA DÁVILA PAMELA
TEMA:	PRUEBA DE ESTANQUEIDAD Y RETORNO	
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:.....	FECHA DE ENTREGA DE LA PRÁCTICA:.....	CALIFICACIÓN:

1.- OBJETIVOS:

- Simular el funcionamiento del inyector en las pruebas de estanqueidad y retorno.
- Realizar un diagnóstico acertado de los inyectores a través de las pruebas de estanqueidad y retorno.
- Determinar las pruebas y parámetros que se obtienen al realizar el control de estanqueidad y retorno.

2.- EQUIPO:

- Equipo de diagnóstico simulador
- Inyector de prueba piezoeléctrico
- Bomba manual
- Herramientas manuales

3.- DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

- Instalar el inyector piezoeléctrico al equipo de pruebas
- Aislar la conexión eléctrica del inyector
- Verificar el nivel de combustible del depósito, completar si es necesario
- Revisar la fuente de alimentación eléctrica de 110V
- Pulsar el botón ON energizar

- Escoger el tiempo adecuado en ms.
- Seleccionar del menú interno digital o control configura la frecuencia o nacho de pulso para incrementar +, decremento –para incrementar tiempo de trabajo de inyecciones ++, decremento --.
- Colocar la probeta para recoger el combustible.
- Elevar la presión de prueba a 240,300, 400 Bar mediante el accionamiento manual de la palanca del equipo.
- Ajustar el tiempo de prueba a 120 s
- Presionar OK para iniciar la prueba de activación
- Registrar los valores en la tabla de las pruebas de estanqueidad y retorno que genera el inyector cuando se trabaja a 240, 300,400 Bar.

Presión de prueba	Volumen a una presión de 240 bar	Volumen a una presión de 300 bar	Volumen a una presión de 400bar
Retorno			
Estanqueidad			
Tiempo ejecución de la prueba			

- Despresurizar el sistema
- Desmontar el inyector
- Mantener el orden y limpieza del simulador de pruebas y del laboratorio
- Desarrollar el análisis de resultados.

4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- De las mediciones realizados como influye la presión respecto a la estanqueidad y retorno
- De las mediciones realizadas como influye la presión respecto al caudal de retorno de los inyectores piezoeléctricos.
- De los resultados obtenidos establezca una relación ante el incremento de presión versus el caudal de retorno.

5.- CUESTIONARIO:

1. ¿Cómo influye el retorno en el estado de un inyector piezoeléctrico?
2. ¿Escriba tres características que el control de estanqueidad de un inyector es el adecuado?
3. ¿Describa la manera de controlar la estanqueidad en un inyector?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA:

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. RECURSOS.

Para el desarrollo del simulador se consideró aspectos como son recursos humanos, tecnológicos y recursos materiales que serán de gran ayuda para poder llegar a culminar nuestro objetivo.

Los recursos que utilizamos serán un complemento de ayuda que debemos optimizar para lo cual diseñamos un plan de guía de recursos para llevar en consideración todo lo que se realizara.

5.1.1. RECURSOS HUMANOS.

Los recursos humanos son importantes para la realización del trabajo titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO".

Tabla 5.1: Recursos Humanos.

No.	Nombre	Detalle
1	Gabriela Cabascango	Investigadora
2	Pamela Dávila	Investigadora
3	Ing. Luis Mena	Director
4	Ing. Germán Erazo	Codirector

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

El trabajo de la investigación fue realizado por: Mayra Gabriela Cabascango Oña y Francisca Pamela Dávila Auz, con la designación de dos tutores que son los señores Ingenieros Luis Mena y Germán Erazo quienes guiaron al proyecto en su inicio y terminación del mismo.

5.1.2. RECURSOS TECNOLÓGICOS.

Para llevar a cabo el proyecto se utilizaron recursos tecnológicos para las diferentes áreas, para la visualización de las ondas utilizamos un osciloscopio, una bomba manual, un simulador de pulsos, un inyector piezoeléctrico, para tener evidencia se utilizó una cámara digital, una filmadora, para las consultas el uso del internet fue de gran ayuda y para la presentación del proyecto se utilizó una computadora.

Todos los recursos fueron herramientas esenciales para poder realizar el proyecto en el área de la investigación científica.

Tabla 5.2: Recursos tecnológicos.

No.	Nombre
1	Osciloscopio
2	Computadora
3	Cámara Digital
4	Filmadora
5	Internet.

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

5.1.3. RECURSOS MATERIALES.

Los recursos materiales que se utilizó en la realización del simulador son todos los componentes físicos que fueron utilizados para la construcción de la estructura, equipo de protección, los componentes eléctricos y electrónicos.

Tabla 5.3: Recursos materiales.

ELEMENTO	
No.	
Mecánico	
1	Estructura
2	Bomba manual
3	Osciloscopio
4	Multímetro
5	Fuente de alimentación
Eléctrico	
6	Resistencias
7	Potenciómetro
8	Condensadores
9	Transistores
10	Borneras
11	Circuitos integrados
12	Diodos
13	Alambre cableado.
14	Fusible
15	Bobinas
16	Baquelita
17	Estaño

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena.

5.1.4. PRESUPUESTO.

Para la realización del proyecto titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO", se necesita de un presupuesto para solventar todos los gastos y llegar a nuestra meta propuesta.

En la tabla 5.4 detallamos el presupuesto que se utilizó, para realizar el simulador para que pueda cumplir con las expectativas de que sirva como un banco didáctico para nuevos conocimiento de los compañeros estudiantes.

Tabla 5.4: Presupuesto.

No.	DETALLE	VALOR USD.
1	Construcción del simulador banco de pruebas	150,00
2	Osciloscopio	250,00
3	Bomba manual	400,00
3	Inyector piezoeléctrico Bosch	700,00
5	Software	40,00
6	Generador de pulsos	200,00
7	Plataforma Arduino	15,00
8	Driver de potencia	50,00
9	Fuentes 2	40,00
10	Varios	100,00
TOTAL		1945,00

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- El simulador realizado para este tipo de inyectores dispone de una fuente eléctrica normal de 110V y un driver de potencia que eleve su voltaje a 160V la cual alimenta al inyector para el funcionamiento y la apertura para las diferentes pruebas a rangos y presiones establecidas por el fabricante del motor.
- En la construcción del generador de pulsos para la activación del inyector se utilizó elementos eléctricos, electrónicos y así como el uso de una interfaz Arduino el cual maneja un software y un hardware para la apertura del inyector.
- Saber que es una plataforma de hardware y software libre que ha tenido gran desarrollo en la comunidad de internet sobre que se desarrolla miles de programas de robótica en corto tiempo.
- La bomba cumple con los parámetros para este tipo de simulador y así enviar la presión requerida como son 600 bares para el funcionamiento del inyector.
- Para el diseño mecánico para el simulador utiliza el programa Solid Works Simulation 2014, para realizar el análisis de tensiones esfuerzos empezando desde la palanca, deformaciones y factor de seguridad de un componente mecánico en función de los materiales asignados, las cargas a las que están sometidos.
- Colocar un driver de potencia que transforme la entrada de 5V a 12V y una etapa de activación de 0V a 12V.
- Presión máxima de inyección = 60 MPa (600 bares), Capacidad del depósito de combustible = 1 litro (1000 cm³), Tubería de inyección para alta presión = M 14 x 1.5, Factor de seguridad mínimo recomendado = 3.0.

RECOMENDACIONES:

- Tener en cuenta que el diseño del simulador del inyector piezo eléctrico fue diseñado solo para ese inyector ya que las tarjetas electrónicas están programadas a los rangos de corriente del inyector.
- El proyecto responde a realizar una investigación en mantenimiento de inyección diesel riel común tipo piezoeléctrico para la utilización de manuales para las diferentes pruebas que se realizara en el simulador.
- Los estudiantes deben tener en cuenta sobre la utilización de las aplicaciones que tiene el simulador y el poderlo manejar.
- Leer detenidamente el manual del usuario para que no tengan equivocaciones y fallas en los resultados de pruebas en el inyector.
- Instalar un tipo de pantalla táctil que sea más fácil de manejar en vez de los pulsadores.
- Implementar un sistema de control de temperatura para ver el flujo.
- Utilizar las debidas normas de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- Augeri. (2008). *Cise Electronic Corp*. Obtenido de Cise Electronic Corp.
- Bosch, R. (2003). *Sistemas de Inyección Diesel*. En R. Bosch, *Sistemas de Inyección Diesel*. Alemania.
- Castro, L. G. (2008). *Manual de Mantenimiento y Reparación*. En L. G. Castro, *Manual de Mantenimiento y Reparación*. Diseli.
- Floyd, T. L. (2006). *Principios de Circuitos Electrónicos*. México: Alfaomega.
- Jaeger, R. C. (2005). *Diseño de Circuitos Electrónicos*. Buenos Aires : Mc Graw Hill.
- Sánchez, G. F. (2008). *Motores Diesel*. En G. F. Sánchez, *Motores Diesel*. Diseli.
- Svoboda, D. (2007). *Circuitos Eléctricos*. Wiley-Interscience.

NETGRAFÍA

- www.forosdeelectronica.com%2Fproyectos%2Fconvertidor
- www.vickershidraulics.ru/pages/hidraulics/valves/scrwew.incartridg/pdf/275.pdf
- www.kompasspain.com/
- www./todo/sistemasdeinyecciondiesel.html
- www.sabelotodo.org/automovil/inyectores.html
- www.es.wikipedia.org/wiki/inyección-de-combustible
- www.dieselinyeccionmilladoro.com
- www.catalogobosch.com/.../Catalogo%20Toberas%20Equador_6_008

- <http://www.hyundai.cl/aprenda-siglas-tecnicas.html#cdri>
- <http://investor.cdti.com/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Unijet>.
- http://es.wikipedia.org/wiki/MultiJet_II#Segunda_Generaci.C3.B3n.
- <http://es.scribd.com/doc/218841183/AUDI-Common-Rail-2-8TDI>
- [http://www.CISE Electronics Corp.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezoelectricos.html](http://www.CISE_Electronics_Corp.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezoelectricos.html)
- [http://www.CISE Electronics Corp.com/portal/notas-tecnicas/item/492-comprobando-la-presi%C3%B3n-m%C3%A1xima-de-la-bomba-en-sistemas-common-rail.html](http://www.CISE_Electronics_Corp.com/portal/notas-tecnicas/item/492-comprobando-la-presi%C3%B3n-m%C3%A1xima-de-la-bomba-en-sistemas-common-rail.html)
- www.fiptestbenches.com
- www.catalogobosch.com/.../Catalogo%20Toberas%20Equador_6_008_

ANEXOS

ANEXO A

Especificaciones plataforma Arduino

ANEXO B

Programación del Arduino para el funcionamiento del control eléctrico del simulador de inyectores piezoeléctricos.

ANEXO C

Especificaciones de la bomba manual modelo 600 NTM / NTL 8750

ANEXO D

Especificaciones transistor Mosfet

ANEXO E

Especificaciones diodo opto acoplador

Latacunga, Agosto de 2014

LOS AUTORES:

Mayra Gabriela Cabascango Oña

Francisca Pamela Dávila Auz

Ing. Juan Castro Clavijo
EL DIRECTOR DE CARRERA
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Dr. Freddy Jaramillo Checa
SECRETARIO ACADÉMICO
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO