



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

**CARRERA DE INGENIERIA MECANICA
AUTOMOTRIZ**

TEMA:

**“Diseño y construcción de un sistema didáctico funcional de
limpieza de inyectores electrónicos diésel Bosch.”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

AUTORES:

CORREA GÁRATE AMADITA JANETH

DIRECTOR:

FERNANDO MUÑOZ

Cuenca-Ecuador, diciembre de 2016

DEDICATORIA

Tengo el gran placer de dedicar este modesto trabajo a mis queridos padres y a mi amado esposo, los mismos que con ese profundo amor que sublimiza mi existencia, he culminado mis estudios para obtener una profesión que con su sacrificio me han abierto amplios horizontes en la vida y así transitaré por el camino de la felicidad y la dicha.

Idolatrados padres permítanme corresponder quizá no de la misma forma, pero si con esa responsabilidad que es norma propia de ustedes, entregándoles mi vida mancomunada con mi amor indeleble, para quedarme con la conciencia tranquila y el deber cumplido.

Amadita Correa Gárate

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Universidad del Azuay, a la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, a nuestros docentes y amigos; de manera especial a mi Director de Tesis Ing. Fernando Muñoz por su apoyo en el transcurso de nuestra formación académica y en la realización del presente trabajo.

Al Ing. Geovanny Díaz y al Ing. Geovanny Lupercio y a los talleres MAHINDRA por la gran ayuda brindada durante la realización de este trabajo de investigación.

Amadita Correa Gárate

Design and construction of a didactic functional system for cleaning Bosch diesel electronic injectors

ABSTRACT

This project aims to design and construct a Bosch diesel injector cleaning bench and a didactic injection bench, which by means of pipelines and pipes, recirculate additives and fuel (diesel) through the vehicle injection system. Thus, decarbonizing injectors, improving injection, optimizing cold starts, fuel consumption, engine power and pollutant emissions. In order to carry out this project, bibliographical research was performed. The inductive-deductive method was applied in the description of the injector simulation procedure. The experimental method was used in the design of the test bench, and the analysis and synthesis of results in the verification of its operation.

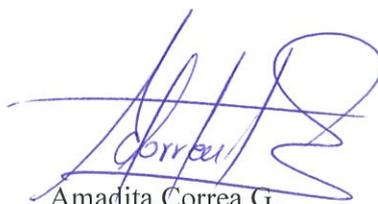
Keywords: cleaning, injectors, dialysis, diesel, arduino, simulation, Netbeans IDE 8.0.2.



Ing. Fernando Muñoz
Thesis Director



Ing. Mateo Coello
School Coordinator



Amadita Correa G.
Author



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Diseño y construcción de un sistema didáctico funcional de limpieza de inyectores electrónicos diésel Bosch.”

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un banco de limpieza para inyectores diésel Bosch y un banco didáctico de inyección, que mediante ductos y cañerías hace recircular aditivos más combustible (diésel) a través del sistema de inyección del vehículo logrando des-carbonizar los inyectores y mejorando la inyección, optimizando arranques en frío, consumo de combustible, potencia del motor y emisiones contaminantes. Para la ejecución del proyecto se realizó investigaciones bibliográficas; se aplicó el método inductivo y deductivo, en la descripción del procedimiento de la simulación de los inyectores; el método experimental, en el diseño del banco de pruebas; así como también el análisis y la síntesis de resultados, en la comprobación de su funcionamiento.

Palabras Clave: Limpieza, inyectores, diálisis, diésel, arduino, simulación, Netbeans IDE 8.0.2.



Ing. Fernando Muñoz

Director de trabajo de titulación



Ing. Mateo Coello

Coordinador de Escuela



Amadita Correa G.

Autor

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
FUNDAMENTO TEÓRICO	2
1.1 El motor Diésel.....	2
1.2 Sistemas de inyección	2
1.2.1 Sistema con bomba de inyección lineal	4
1.2.2 Sistema con bomba rotativa	5
1.2.3 Sistema de bomba unitaria (UPS)	7
1.2.4 Sistema de unidad inyectora (UIS)	7
1.2.5 Sistema de inyección Common Rail	9
1.3 Componentes del sistema de inyección CRDI	10
1.3.1 Depósito de combustible	10
1.3.2 Bomba de transferencia.....	11
1.3.3 Filtro de combustible	12
1.3.4 Bomba de alta presión.....	13
1.3.5 Riel.....	15

1.3.6	Los inyectores	15
1.3.6.1	Pre inyección.....	16
1.3.6.2	Inyección principal	17
1.3.6.3	Post-inyección.....	17
1.3.7	Tuberías de conexión	18
CAPÍTULO II		19
DISEÑO DEL SISTEMA DIDÁCTICO		19
2.1	Diseño del sistema de limpieza	19
2.2	Diseño de la estructura del banco de inyectores.....	19
2.2.1	Diseño del generador de pulsos	20
2.2.2	Selección del micro controlador.....	23
2.3	Desarrollo y programación del software	25
2.4	Análisis de cargas y sujeción.....	29
CAPÍTULO III.....		32
ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DIDÁCTICO		32
3.1	Ensamble del soporte y componentes de la máquina limpia inyectores.	32
3.1.1	Materiales utilizados para el ensamble de la máquina limpia inyectores 33	
3.1.2	Montaje de los componentes internos de sistema didáctico	33
3.1.2.1	Tablero de mando	34
3.1.2.2	Bomba de presión Flojet	35
3.1.2.3	Sirena de aviso	35
3.1.2.4	Válvula check	36
3.1.2.5	Electroválvulas.....	36
3.1.2.6	Filtro de combustible	37
3.1.2.7	Depósito de combustible.....	37
3.1.2.8	Depósito de aditivos.....	38

3.1.2.9	Switch de vacío	38
3.1.2.10	Medidor de combustible	39
3.2	Ensamblaje de los elementos del sistema didáctico	39
3.2.1	Montaje de los elementos que conforman el banco didáctico.....	40
3.2.1.1	Bomba de alta presión.....	40
3.2.1.2	Riel de inyectores.....	41
3.2.1.3	Mangueras.....	41
3.2.1.4	Inyectores.....	42
3.2.1.5	Circuito de retorno de combustible.....	43
3.2.1.6	Soportes	43
3.2.1.7	Motor trifásico	44
3.2.1.8	Depósito de combustible.....	44
3.2.1.9	Manómetro.....	45
3.3	Construcción del generador de pulsos	45
3.4	Conexiones del tablero de mando	47
3.5	Conexión de la tarjeta electrónica	48
3.6	Manual de uso	49
3.6.1	Máquina de limpieza de inyectores.....	49
3.6.2	Máquina de simulación de inyección.....	55
CAPÍTULO IV.....		59
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		59
4.1	Pruebas alternativas máquina simuladora de inyección.....	59
4.2	Pruebas en la máquina de simulación de inyección.....	60
4.2.1	Ralentí.....	60
4.2.2	Media carga.....	60
4.2.3	Carga alta	61
4.2.4	Presiones	61

4.2.5	Fugas	61
4.3	Resultados	61
4.4	Homologación	63
4.4.1	Ahorro de combustible	63
4.4.2	Mejora rendimiento y potencia del motor	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		64
Conclusiones		64
Recomendaciones.....		65
BIBLIOGRAFÍA		66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de alimentación en un motor diésel.....	3
Figura 2 Sistemas de inyección diésel mecánicos.....	3
Figura 3 Sistemas de inyección electrónica diésel	4
Figura 4 Presiones en bombas de inyección lineal.....	5
Figura 5 Partes de la bomba de inyección rotativa	6
Figura 6 Sistema de inyección UPS	7
Figura 7 Sistema de inyección UIS	8
Figura 8 Sistema de inyección de riel común	9
Figura 9 Esquema del sistema de inyección por riel común	10
Figura 10 Depósito de combustible diésel.	11
Figura 11 Bomba de transferencia del sistema CRDI.....	12
Figura 12 Esquema del filtro de combustible del sistema de inyección diésel Common Rail	13
Figura 13 Bomba de alta presión del sistema de riel común.....	14
Figura 14 Bomba de alta presión	14
Figura 15 Riel.....	15
Figura 16 Partes del inyector.....	16
Figura 17 Modelamiento del banco de pruebas	19
Figura 18 Diseño del sistema de simulación.....	20
Figura 19 Esquema electrónico del generador de pulsos	22
Figura 20 Placa Arduino Uno	23
Figura 21 Esquema de la placa Arduino	23
Figura 22 Distribución de pines del Pic 18F2520.....	24
Figura 23 Esquema de conexión Inyectores-Computador	25
Figura 24 Visualización en el computador.....	26
Figura 25 Interfaz de obtención de archivos para la programación.....	26
Figura 26 Apertura de archivo para programación del micro controlador.....	27
Figura 27 Almacenamiento de la información en el Pic	27
Figura 28 Apertura de archivo para programación en NetBeans.....	28

Figura 29 Nomenclatura y programación de apertura y cierre de inyectores	29
Figura 30 Tensión de Von Mises	30
Figura 31 Factor de seguridad en el banco de pruebas	31
Figura 32 Deformación máxima en la estructura.....	31
Figura 33 Estructura del Banco.....	32
Figura 34 Tablero de mando del sistema didáctico.....	34
Figura 35 Bomba de presión del sistema didáctico.....	35
Figura 36 Sirena de aviso del sistema didáctico	35
Figura 37 Válvula check del sistema didáctico.....	36
Figura 38 Electroválvulas del sistema didáctico.....	36
Figura 39 Partes y elementos del filtro de combustible	37
Figura 40 Depósito de combustible.....	37
Figura 41 Depósito de aditivos	38
Figura 42 Switch de vacío del sistema didáctico	38
Figura 43 Medidor de combustible	39
Figura 44 Máquina de simulación.....	39
Figura 45 Bomba de alta presión.	41
Figura 46 Riel de inyectores	41
Figura 47 Mangueras.....	42
Figura 48 Inyectores.....	43
Figura 49 Retorno de combustible	43
Figura 50 Soportes	44
Figura 51 Motor eléctrico trifásico	44
Figura 52 Depósito de combustible.....	45
Figura 53 Manómetro.....	45
Figura 54 Rotulado de la placa.....	46
Figura 55 Rotulado de la placa en la baquelita	46
Figura 56 Soldado de componentes en la placa	47
Figura 57 Identificación de borneras.....	47
Figura 58 Conexión de tarjeta electrónica	48
Figura 59 Máquina de limpieza de inyectores.	49
Figura 60 Entrada y salida de combustible	50
Figura 61 Aditivo limpia inyectores	51
Figura 62 Ingreso aditivo	51

Figura 63 Fuente de alimentación externa.	52
Figura 64 Entrada y salida de combustible.	52
Figura 65 Botón de encendido	53
Figura 66 Botón de llenado de combustible.....	53
Figura 67 Botón de puesta en marcha	54
Figura 68 Botón de alto.....	54
Figura 69 Botón de alarma.....	55
Figura 70 Máquina de simulación de inyección	55
Figura 71 Conector de alimentación 220V trifásico	56
Figura 72 Botón de encendido (verde) máquina de simulación.....	56
Figura 73 Tarjeta electrónica (potenciómetro).....	57
Figura 74 Activación y desactivación de inyectores.....	57
Figura 75 Botón de apagado (rojo) máquina de simulación	58
Figura 76 RPM vs ancho de pulsos.....	62
Figura 77 Presión en el riel vs ancho de pulso.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Presiones de inyección en las bombas de inyección lineales.....	5
Tabla 2 Presiones de inyección en las bombas rotativas.....	6
Tabla 3 Presiones máximas de inyección en sistemas UPS.....	7
Tabla 4 Presiones máximas de inyección en sistemas UIS.....	8
Tabla 5 Presiones máximas de inyección en los sistemas common rail	9
Tabla 6 Parámetros de selección del Pic.....	24
Tabla 7 Características del Pic 18F2520.....	25
Tabla 8 Pesos en el banco de pruebas didáctico	29
Tabla 9 Materiales para el ensamblaje del sistema didáctico.	33
Tabla 10 Componentes del sistema didáctico	34
Tabla 11 Materiales para el banco de pruebas didáctico.....	40
Tabla 12 Especificaciones técnicas de la máquina de limpieza de inyectores.....	50
Tabla 13 Especificaciones técnicas de la máquina de simulación de inyectores.....	56
Tabla 14 Resultados de las pruebas.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Correa Gárate Amadita Janeth

Trabajo de grado

Fernando Muñoz

Abril del 2017

“Diseño y construcción de un sistema didáctico funcional de limpieza de inyectores electrónicos diésel Bosch.”

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto, se diseña y construye un sistema didáctico funcional empleado para la limpieza de inyectores diésel Bosch y una máquina de simulación. Para el desarrollo del trabajo en el primer capítulo se realiza una recopilación bibliográfica de forma general, y se define conceptos de un sistema de inyección electrónica a diésel y cada uno de sus componentes tales como los inyectores, bomba (de transferencia, alimentación y baja presión), depósito de combustible, filtro y cañerías. Posteriormente en el segundo capítulo se realiza la descripción del diseño del banco de limpieza sus componentes y sistemas, donde se emplea herramientas de un software para el control y para la simulación de deformaciones en la estructura de soporte del equipo. En el tercer capítulo se redacta el proceso de ensamblaje del sistema didáctico y generador de impulsos, así como también se enumera los materiales utilizados y se precisa los componentes internos y externos que lleva el equipo, además se detalla cómo se debe operar la máquina desde el tablero de control. Por último en el capítulos 4 se realizan los análisis y la síntesis de resultados obtenidos de la comprobación de su funcionamiento y finalmente se escribe las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 El motor Diésel

De acuerdo con lo expuesto por Ezequiel Vallejos (2015) en su libro, menciona que el motor diésel es un motor térmico de combustión interna, en el cual las fuerzas de expansión de los gases combustionados producen su funcionamiento. Los sistemas que complementan un motor diésel son los siguientes:

- Sistema de lubricación
- Sistema de refrigeración
- Sistema de distribución
- Sistema eléctrico
- Sistema de alimentación e inyección de combustible

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un banco de pruebas para la limpieza de inyectores, los mismos que pertenecen al sistema de inyección y es por ese motivo que a continuación se describen sus tipos y características principales de funcionamiento.

1.2 Sistemas de inyección

La inyección en los motores a diésel se produce mediante un proceso que inicia desde el tanque de combustible (1) donde el diésel sale succionado por la bomba de alimentación (2), circula a través del filtro (3), ingresa a la bomba de inyección (4) y mediante el elemento se bombea a una elevada presión. Los inyectores (5) pulverizan el combustible a cada cilindro del motor (Bosch, 2015).

En la figura 1, se puede observar la ubicación de los componentes mencionados anteriormente, los mismos intervienen en la circulación del combustible diésel hasta ser inyectado en cada uno de los cilindros del motor.

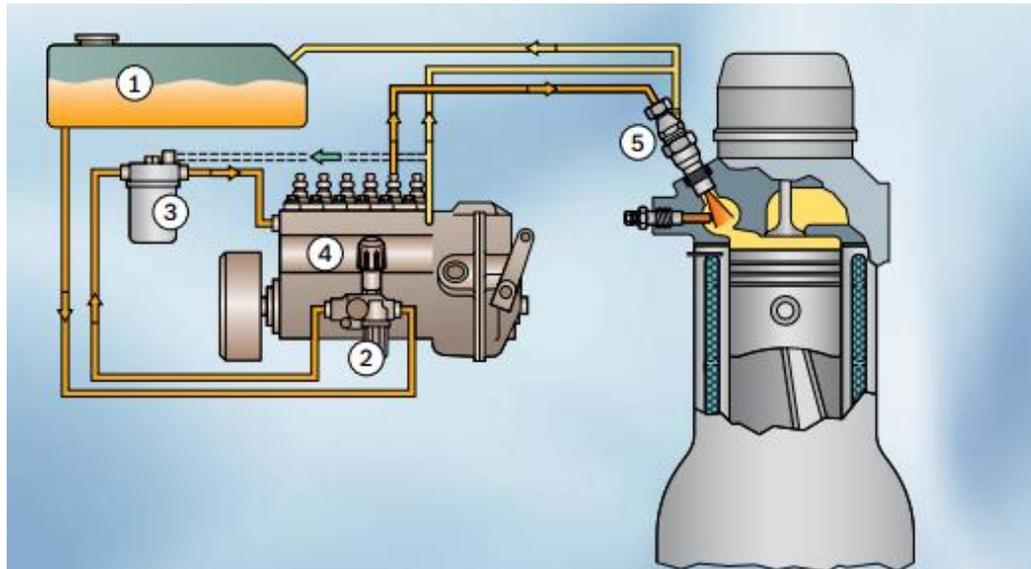


Figura 1 Sistema de alimentación en un motor diésel

(Bosch, 2015)

Cuando el combustible llega a los inyectores, es inyectado en el momento exacto a alta presión para alcanzar la potencia deseada. El sistema encargado de que se produzca la entrada de combustible diésel a alta presión, es el sistema de inyección. Los sistemas de inyección pueden ser mecánicos o electrónicos, clasificándose como se muestran en las figuras 2 y 3.

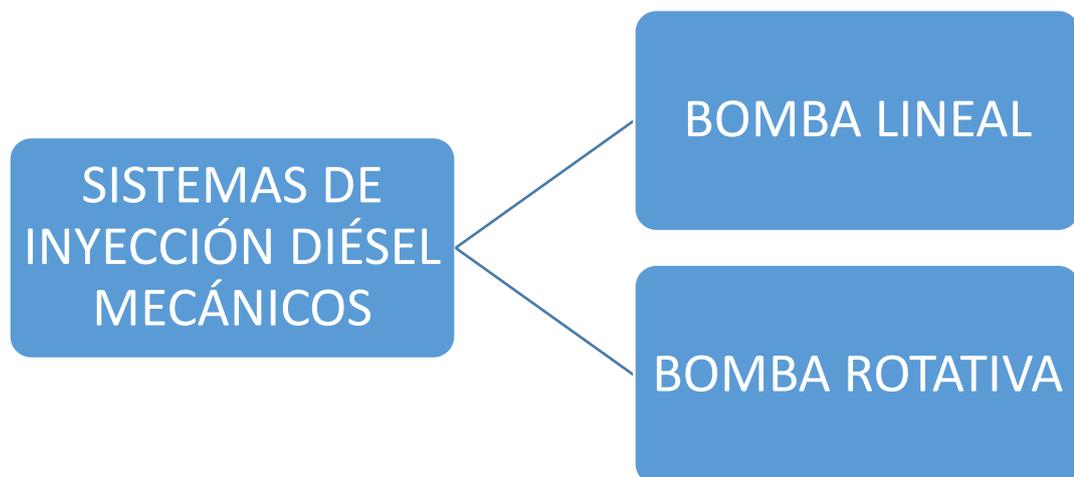


Figura 2 Sistemas de inyección diésel mecánicos

(Parreño, 2012)

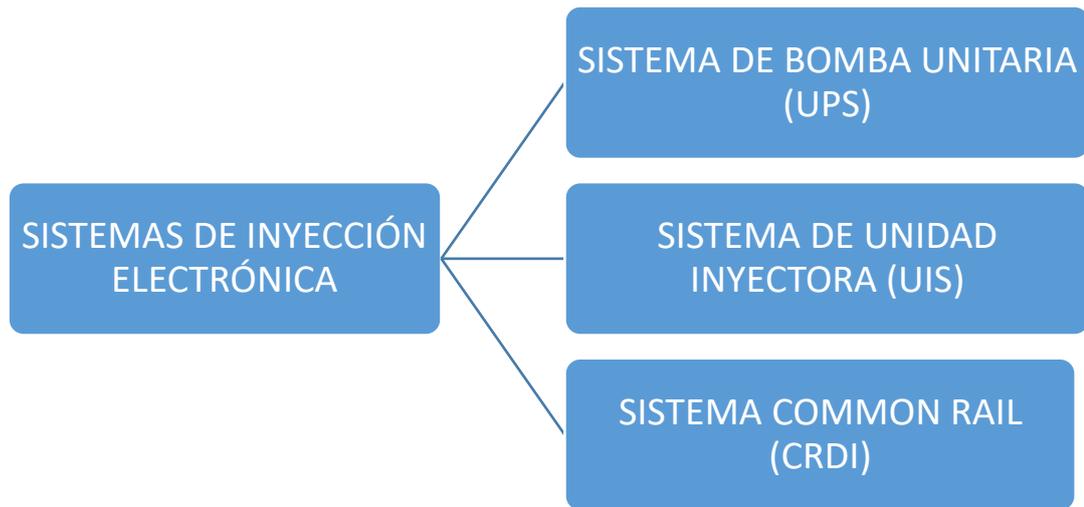


Figura 3 Sistemas de inyección electrónica diésel

(Bosch, 2015)

A continuación, se describen las características principales de cada sistema, enfatizando al sistema de inyección CRDI, ya que este sistema es el que interviene en el proyecto.

1.2.1 Sistema con bomba de inyección lineal

Las bombas de inyección lineales están alojadas junto al motor, el mismo que las acciona. Cada uno de los cilindros del motor se encuentran conectados a un elemento de la bomba que se encuentra dispuesta en línea; esa es la razón del nombre "bomba en línea" (Bosch, 2015).

Con el sistema de inyección de bomba en línea, las presiones de inyección de combustible diésel varían de acuerdo al vehículo, es así que para vehículos diésel livianos como sedan o pick-up, la presión es de 550 bar, en vehículos medianos o mini tractores, por ejemplo, la presión se encuentra en un rango de 750 a 950 bar, mientras que en vehículos pesados como los de 3 ejes, la presión es de 1200 a 1300 bar. Las presiones de inyección de la bomba lineal en diferentes tamaños de vehículos se observan en la figura 4.

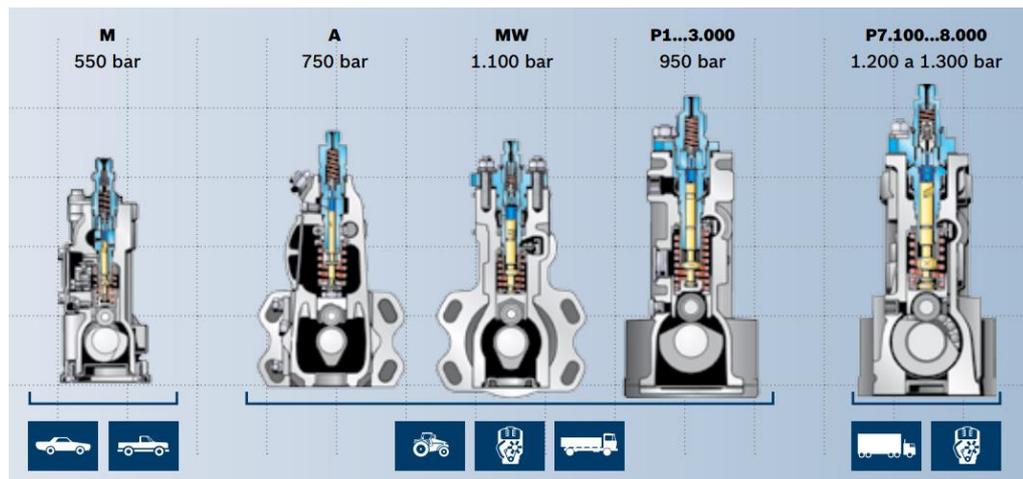


Figura 4 Presiones en bombas de inyección lineal

(Bosch, 2015)

Existen varios tipos de bombas de inyección lineales que trabajan con distintos rangos de presión máxima de inyección. A continuación, en la tabla 1 se muestran los tipos y las presiones de inyección máximas.

Tabla 1 Presiones de inyección en las bombas de inyección lineales

Tipo de bomba de inyección	Presión máxima de inyección (bar)
M	550
A	750
MW	1100
P 3000	950
P 7100	1200
P 8000	1300
P 8500	1300
H 1	1300
H 1000	1350

(Armas & Vaca, 2013)

1.2.2 Sistema con bomba rotativa

Las bombas de inyección rotativa, conocida también como distribuidoras, poseen la característica de ser más compactas en relación con las lineales, más livianas, trabajan con mayores revoluciones y funcionan en cualquier posición. Es así que, son más apropiadas a los vehículos livianos. La geometría en su diseño, el concepto y la apariencia son totalmente distintas a las bombas en línea, al contener la bomba de

inyección, bomba de alimentación y el regulador en una sola unidad en la misma carcasa, por este motivo se utiliza sólo un pistón para los diversos cilindros del motor y el control de la inyección en cada cilindro se realiza a través de un sólo orificio entregando una presión de 1500 bar a los inyectores (Bosch, 2016).

Una bomba de inyección rotativa diésel se compone de varios componentes, mostrados en la figura 5.

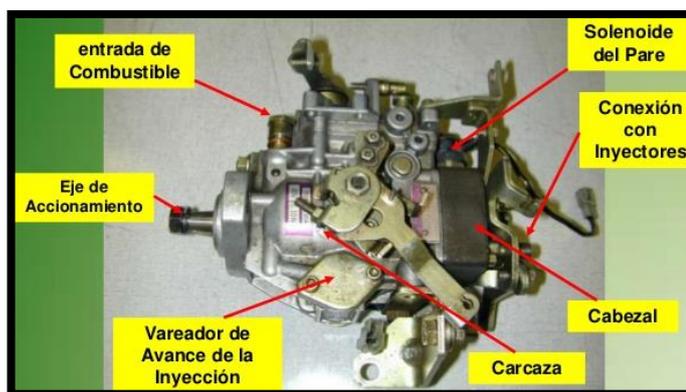


Figura 5 Partes de la bomba de inyección rotativa
(Márquez, 2012)

Existen tres tipos de bombas de inyección de tipo rotativas en donde la presión de inyección varía. A continuación se observan los tipos de bombas de inyección rotativas con las presiones de inyección. Ver tabla 2.

Tabla 2 Presiones de inyección en las bombas rotativas

Tipo de bomba rotativa	Presión máxima de inyección (bar)
VE	1200
VE EDC	1200
VE MV	1400
VR MV	1700

(Armas & Vaca, 2013)

1.2.3 Sistema de bomba unitaria (UPS)

En este sistema, existe una bomba de alta presión que se encuentra conectada directamente a cada uno de los porta inyectores. Esta bomba es accionada mediante el sistema de distribución del motor, comprimiendo el combustible diésel. La unidad de control de inyección activa la válvula electromagnética, que permite el flujo de combustible a presión alta hacia el pico inyector (Bosch, 2016).

En la figura 6 se observa al sistema de inyección UPS donde la bomba se encuentra conectada al porta inyector.



Figura 6 Sistema de inyección UPS

(Bosch, 2016)

Existen varios tipos de sistemas de inyección UPS con diferentes valores de presión de inyección, los mismos que se observan en la tabla 3.

Tabla 3 Presiones máximas de inyección en sistemas UPS

Sistema de inyección	Presión máxima de inyección (bar)
UPS 12	1600
UPS 20	1800
UPS (PF)	1400

(Armas & Vaca, 2013)

1.2.4 Sistema de unidad inyectora (UIS)

Este sistema junta la bomba de alta presión y el inyector, en una misma unidad compacta, para cada cilindro. Además, reemplaza el conjunto porta inyector que existe

en sistemas convencionales, exceptuando el empleo de las tuberías de alta presión, lo que permite alcanzar elevados valores de presión. Las unidades inyectoras instaladas en la cabeza del motor, inyectan el combustible de manera directa en cada cilindro (Bosch, 2016).

En la figura 7, es posible observar el sistema de inyección diésel UIS donde la leva transmite el movimiento al balancín que presiona al empujador, luego al émbolo de presión que se encuentra rodeado del muelle enviando el combustible a alta presión hacia la tobera de inyección.

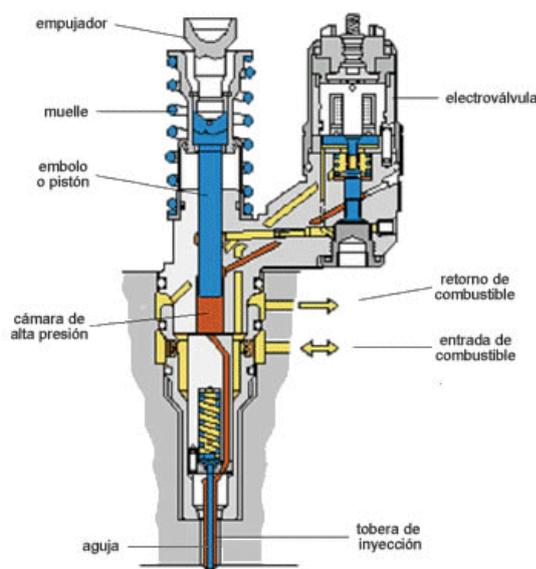


Figura 7 Sistema de inyección UIS

(Actualidad Motor, 2012)

Las presiones de inyección de los sistemas con unidad inyectora UIS se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Presiones máximas de inyección en sistemas UIS

Sistemas de inyección	Presión máxima de inyección (bar)
PF(R)...	800...1500
UIS 30	1600
UIS 31	1600
UIS 32	1800
UIS-P1	2050

(Armas & Vaca, 2013)

1.2.5 Sistema de inyección Common Rail

En el sistema de inyección Common Rail, la presión es producida en la bomba de alta presión comprimiendo el combustible y enviándolo hacia el orificio del raíl a través de un conducto, que trabaja como acumulador de alta presión común para el conjunto de inyectores. El combustible es distribuido a cada inyector al mismo tiempo, los cuales son los encargados de suministrarlo en la cámara de combustión de cada cilindro. (Bosch, 2015).

Los sistemas de riel común tienen como componentes una bomba de alta presión, un riel, los inyectores y unidad de control electrónica como se aprecia en la figura 8.



Figura 8 Sistema de inyección de riel común

(Bosch, 2016)

El sistema de inyección por riel común trabaja con presiones de inyección en un rango de 1350 a 1400 bar dependiendo del tipo de vehículo, como se observa en la tabla 5.

Tabla 5 Presiones máximas de inyección en los sistemas common rail

Tipo de vehículo	Presión máxima de inyección (bar)
CR (vehículos ligeros)	1350
CR (vehículos industriales)	1400

(Armas & Vaca, 2013)

El sistema de inyección de riel común presenta varias ventajas en relación a los otros sistemas, tales como:

- Excelente desempeño y eficiencia de combustible.
- El sistema de inyección de combustible Common Rail es controlado electrónicamente para cumplir con una combustión óptima.
- Bajo nivel de emisiones de ruidos.
- Amigable con el medio ambiente para responder a todos los reglamentos mundiales sobre emisiones.
- Inyectores ubicados en forma vertical central.
- Inyección piloto es posible con el sistema de inyección de Common Rail.

1.3 Componentes del sistema de inyección CRDI

El sistema de riel común está compuesto esquemáticamente por un circuito de baja presión desde la bomba de transferencia dentro del depósito de combustible hasta la bomba de alta presión y desde este elemento otro circuito de alta presión, hasta los inyectores. Los componentes que intervienen en el sistema de riel común se pueden visualizar en la figura 9.

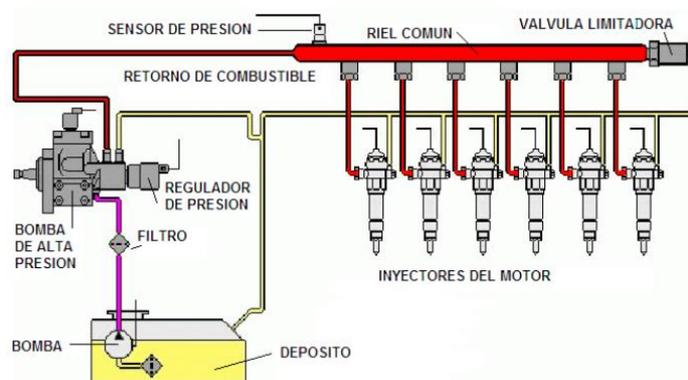


Figura 9 Esquema del sistema de inyección por riel común

(Coral, 2013)

Cada elemento que conforma el sistema de inyección por riel común se describe a continuación.

1.3.1 Depósito de combustible

Los depósitos de combustible deben ser resistentes a la corrosión y mantenerse con

estanqueidad incluso a una sobre presión. La sobre presión producida debe escapar por si misma a través de aberturas apropiadas, válvulas de seguridad. El combustible no debe salir por la tapa de la boca de llenado o por los dispositivos para compensación de presión, incluso en posición inclinada.

En la figura 10 se observa un depósito de combustible diésel.

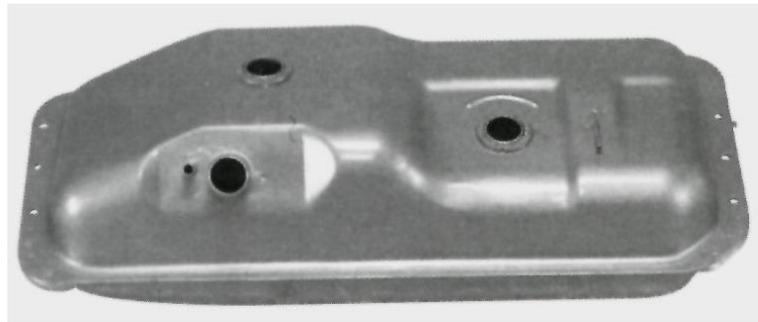


Figura 10 Depósito de combustible diésel.

(CISE , 2011)

1.3.2 Bomba de transferencia

La bomba de transferencia, aspira el combustible desde el depósito del vehículo, impulsando a que circule por el filtro, y enviándolo hacia la bomba de alta presión, a una presión de transferencia de 6 bar (DELPHI, 2007).

El ingreso del combustible se realiza por el conducto de succión, en ese instante, el volumen de la cámara es mínimo, el eje de la bomba rota en sentido anti horario produciendo en ingreso del diésel por depresión. Cuando se completa el volumen de combustible en la cámara, el combustible es enviado por el conducto de salida hacia el filtro con una presión de 6 bar y posteriormente a la bomba de alta presión (Cobo, 2013).

La bomba de transferencia posee las siguientes características de trabajo (Jiménez, 2012):

- Presión de de combustible de 6 bar
- 90 litros/h a 300 rpm de la bomba

- 650 litros/h a 2500 rpm de la bomba
- Aspiración 65 mbar a 100 rpm de la bomba

En la figura 11 se observa a una bomba de transferencia de un sistema de inyección CRDI con sus conductos de entrada y salida de combustible.

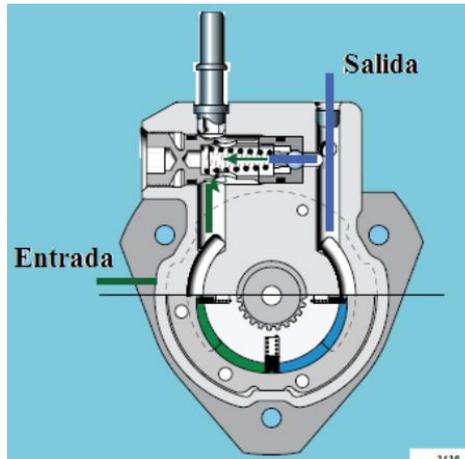


Figura 11 Bomba de transferencia del sistema CRDI

(Jiménez, 2012)

1.3.3 Filtro de combustible

El sistema de inyección diésel de riel común, funciona eficientemente si el motor está totalmente libre de impurezas. El funcionamiento apropiado del filtro se logra si se cumple el período de cambio del mismo según lo especificado por el fabricante, así mismo, liberando el agua que se encuentra retenida en el depósito de acumulación cada cambio de aceite (Coruña Diesel, 2016).

Los filtros deberán soportar las presiones elevadas y las tolerancias de la tecnología de precisión del sistema de riel común. El núcleo filtrante está conformado de doble capa de poliéster y celulosa acumulando la suciedad ofreciendo elevados niveles de depuración. La construcción del filtro, se realiza con un elemento en forma de V radial, garantiza la separación de agua, previniendo la corrosión.

En la figura 12 se observa el esquema de un filtro de combustible del sistema de inyección Common Rail con el conducto de entrada de combustible proveniente del

depósito, el elemento filtrante, la salida del combustible sin impurezas a la bomba de alta presión y también los retornos desde la bomba hacia el filtro y del filtro al depósito.

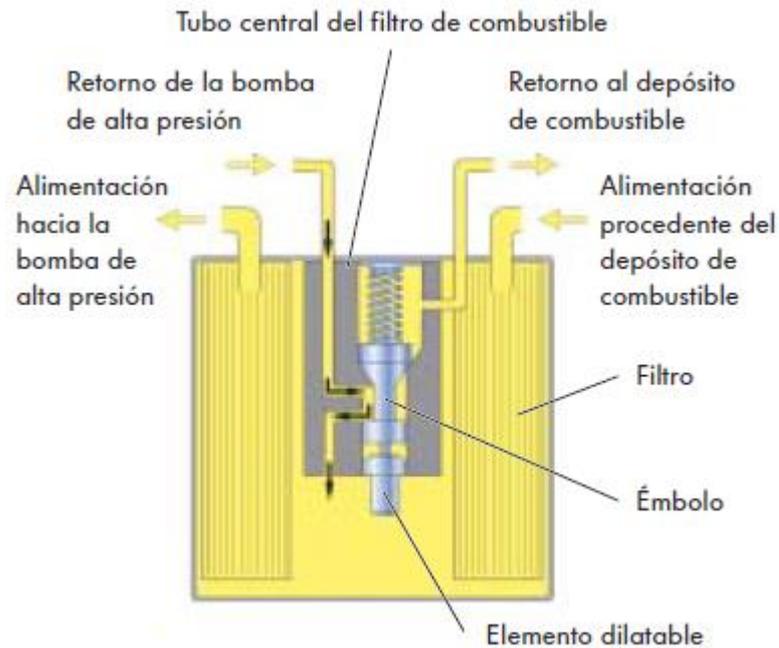


Figura 12 Esquema del filtro de combustible del sistema de inyección diésel Common Rail

(Barbadillo, 2014)

El elemento filtrante retiene las impurezas que se encuentran en el combustible, por esa razón es el componente principal del filtro y posee ciertas características tales como:

- Larga superficie de fibra artificial
- Alta retención de partículas
- 93% de efectividad en la separación de agua
- >90% de filtración de partículas, a un caudal de 125 l/h (condiciones normales)

1.3.4 Bomba de alta presión

La bomba de alta presión mantiene la presión necesaria independientemente de las revoluciones del motor, es decir, sean bajas o altas. Generalmente, los sistemas de riel común son equipados con bombas de pistones radiales. La figura 13 muestra la bomba de alta presión del sistema de inyección de riel común.



Figura 13 Bomba de alta presión del sistema de riel común
(Bosch, 2016)

La bomba cumple la función de poner siempre a disposición suficiente combustible comprimido, en todos los parámetros de servicio y durante toda la vida útil del vehículo. Esto incluye el mantenimiento de una reserva de combustible eficaz para un proceso de arranque rápido, así mismo un aumento rápido de la presión en el riel.

Cuando el diésel llega impulsado por la bomba de transferencia con una presión de 6 bar a la bomba de alta presión, que dispone de un actuador comandado por la ECU para el llenado de combustible. En el llenado de combustible, los rodillos se encuentran en contacto con la leva mediante los muelles en cada pistón.

Cuando la presión del combustible incrementa, la válvula de succión se cierra a través de una esfera. Cuando los rodillos han llegado al punto de ataque de la leva, se disminuye el volumen de combustible y la presión incrementa y se abren las válvulas de salida al riel. Los componentes descritos se pueden observar en la figura 14.

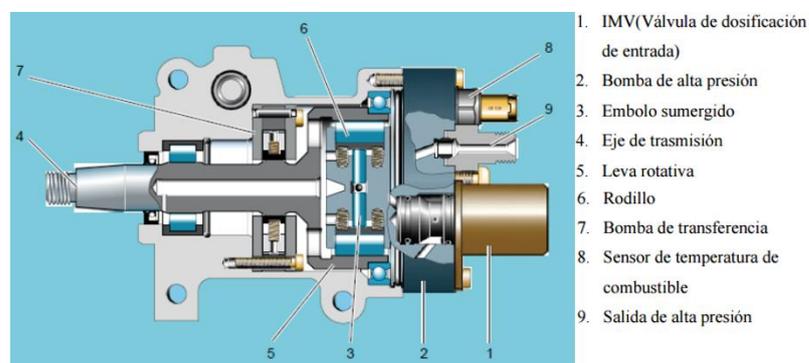


Figura 14 Bomba de alta presión
(DELPHI, 2007)

1.3.5 Riel

Es el elemento que acumula la presión enviada por la bomba de alta presión y envía a los inyectores a través de las cañerías. Su geometría es cilíndrica que evita los puntos donde se concentran los esfuerzos por las altas presiones (Cobo, 2013). El riel acumula una presión de 1400 bar y sus componentes se observan en la figura 15.

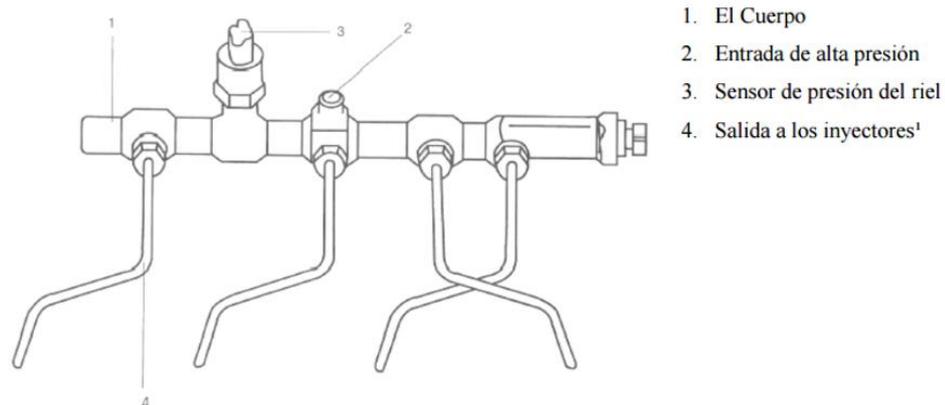


Figura 15 Riel
(Hyundai, 2014)

1.3.6 Los inyectores

Los inyectores son los elementos que reciben el combustible acumulado en el riel y su misión es atomizar una pequeña cantidad en la cámara de combustión de los motores diésel.

La fabricación de los inyectores es muy minuciosa ya que los elementos internos tienen ajustes muy precisos para que trabajen a presiones muy elevadas de hasta 2000 aperturas por minuto y a unas temperaturas de entre 500 y 600 °C. Son excitados a través de un actuador piezoeléctrico. La velocidad de conmutación de un actuador piezoeléctrico es aproximadamente cuatro veces superior a la de una válvula electromagnética.

Los inyectores poseen varias características en su funcionamiento tales como:

- Posibilidad de ejecutar varias inyecciones en cada ciclo de trabajo.

- Cantidades de inyección exactamente dosificables.
- Distribuir de manera homogénea la cantidad inyectada.
- Permitir inyectar cantidades cada vez más pequeñas.
- Inyectar a presiones elevadas.

Los componentes de un inyector diésel del sistema de riel común se pueden observar en la figura 16.

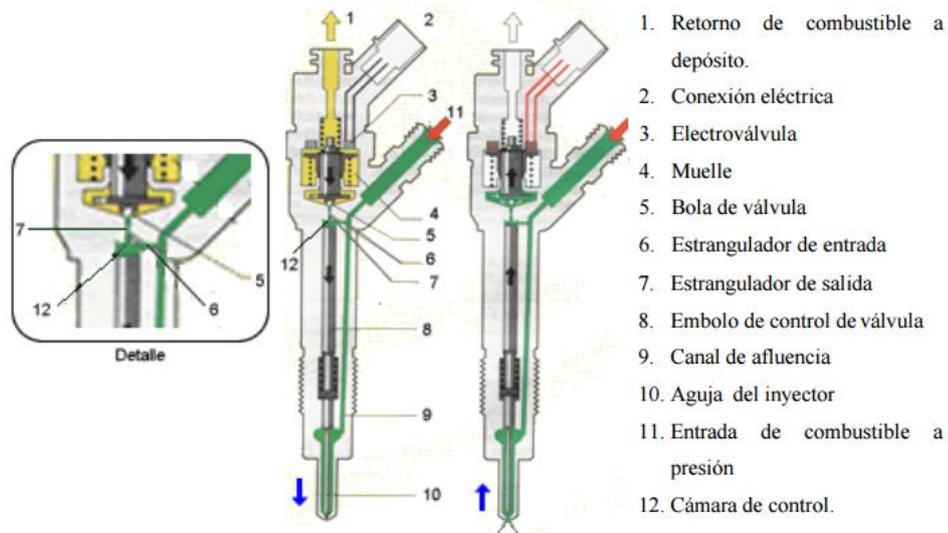


Figura 16 Partes del inyector

(Padilla, 2013)

Las electroválvulas de los inyectores permiten la ventaja de que trabajen en 3 etapas para suministrar la cantidad apropiada de combustible en el momento apropiado, estas etapas son pre inyección, inyección principal y post inyección. Estas etapas se describen a continuación.

1.3.6.1 Pre inyección

Antes de la inyección principal se inyecta una pequeña cantidad de combustible en la cámara de combustión. Esto provoca un aumento de temperatura y presión en la cámara. Con ello se abrevia a su vez el período de retraso de auto-ignición de la cantidad correspondiente a la inyección principal, disminuyendo el gradiente del ascenso de la presión y reduciéndose los picos de presión en la cámara. Como consecuencia se obtiene una menor sonoridad de la combustión y sólo bajas emisiones

de escape. El número, el momento y las cantidades de combustible correspondientes a las preinyecciones dependen de las condiciones operativas del motor. Si el motor está frío y gira a regímenes inferiores se realizan dos preinyecciones por motivos acústicos.

Al funcionar a plena carga y a regímenes superiores se omite la preinyección, por ser necesario inyectar una gran cantidad de combustible en un solo ciclo para obtener un alto grado de rendimiento.

1.3.6.2 Inyección principal

Después de la preinyección se intercala un breve intervalo de espera, tras el cual se inyecta la cantidad principal de combustible en la cámara de combustión.

La magnitud de la presión de la inyección se mantiene casi invariable durante todo el ciclo de la inyección.

Esta etapa permite el aporte de energía para realizar el ciclo de trabajo por parte del motor. De la misma manera, es el causante de la generación del torque del motor. El valor de la presión de inyección es aproximadamente constante mientras dura todo el proceso.

1.3.6.3 Post-inyección

Para efectos de regeneración de un filtro de partículas diésel se llevan a cabo el ciclo de post-inyección, aumentando la temperatura de los gases de escape, lo cual es necesario para la combustión de las partículas de hollín en el filtro.

La inyección posterior se produce a continuación de la inyección principal en el tiempo de expansión, hasta 200 grados de rotación del cigüeñal después de coronar el PMS. La post inyección inserta en los gases de escape una proporción de combustible dosificada. A diferencia de la pre inyección y la inyección principal, el diésel no se combustiona, por el contrario, se evapora por el calor en los gases residuales de combustible. A través de la retroalimentación de gases de escape se proporciona una

parte del diésel a la combustión y actúa como una inyección previa muy avanzada.

1.3.7 Tuberías de conexión

Las tuberías de alta presión deben soportar permanentemente la presión máxima del sistema y las oscilaciones de presión que producen durante las pausas de inyección.

Las diferentes distancias entre el riel y los inyectores se compensan mediante curvaturas pronunciadas en el correspondiente tendido de las tuberías de inyección. La longitud de las tuberías deben ser lo más cortas posibles.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL SISTEMA DIDÁCTICO

2.1 Diseño del sistema de limpieza

En el diseño del banco didáctico se considera una estructura desplazable para transportarla con facilidad al lugar donde se va a ejecutar la práctica y así manipularla de tal forma que el operador pueda acceder fácilmente a los componentes del sistema, para la visualización y comprobación de las respectivas pruebas de funcionamiento, además que sea capaz de soportar los esfuerzos a los que está sometido por los diferentes elementos de la máquina de limpieza.

El modelamiento del banco de pruebas con los componentes externos se observa en la figura 17.

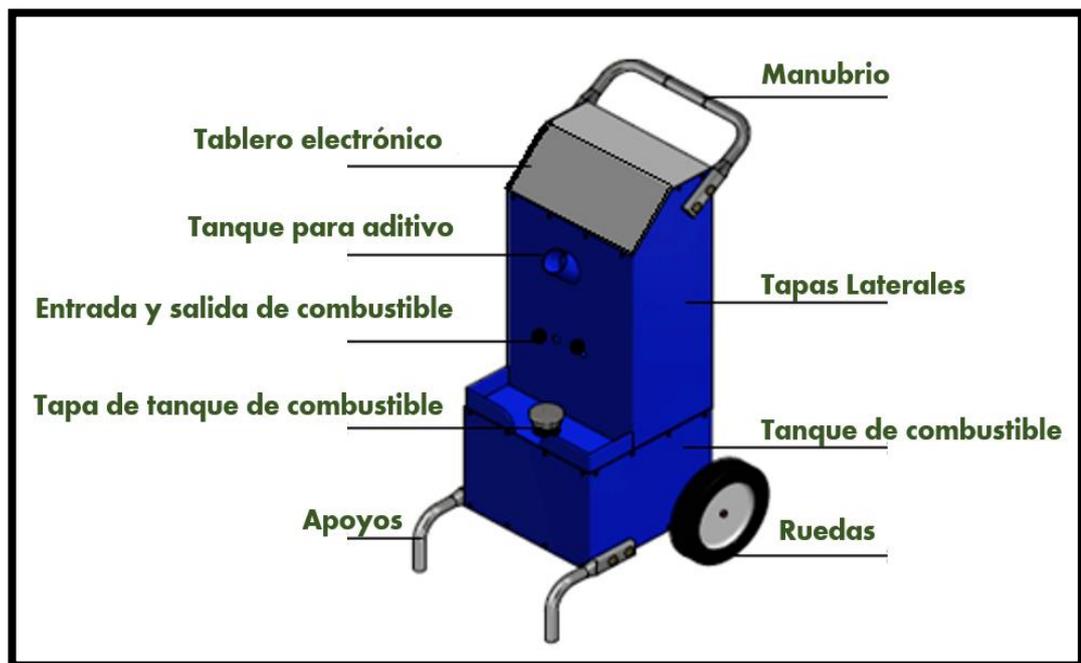


Figura 17 Modelamiento del banco de pruebas

(Correa A, 2017)

2.2 Diseño de la estructura del banco de inyectores

El funcionamiento del sistema se produce con el trabajo de los elementos internos. Esquemáticamente, el sistema de inyección de riel común se observa en la figura 18

que corresponde a la simulación.

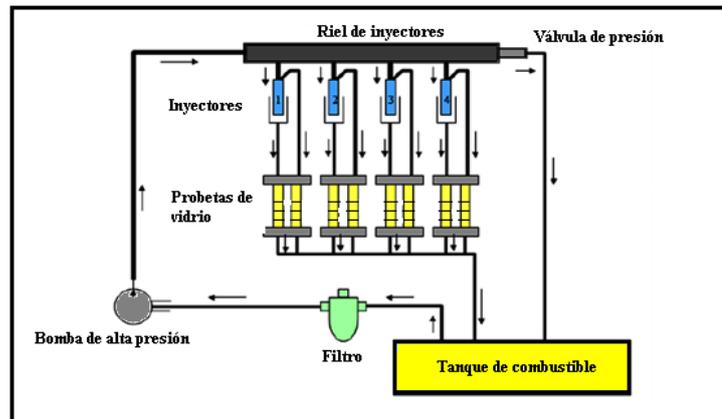


Figura 18 Diseño del sistema de simulación
(Correa A, 2017)

2.2.1 Diseño del generador de pulsos

Para el diseño, se debe conocer las características de tensión, corriente y frecuencia con las que trabaja el sistema de inyección Diésel Bosch para luego determinar los componentes a utilizar en el generador de pulsos.

Los inyectores de un motor diésel con un sistema de riel común poseen una válvula solenoide, la misma que recepta los pulsos de la computadora para controlar la apertura y el cierre de la aguja de inyección. Esta apertura y cierre de la válvula de inyección estará regulada por la computadora, en función a la señal recibida por parte de los sensores que toman las señales de las revoluciones del motor, temperatura del refrigerante y del aire de admisión entre otros.

El equipo para este proyecto contará con dos potenciómetros, el uno para regular las revoluciones de un motor eléctrico y el otro para los pulsos enviados a los inyectores. Además, los pulsos serán enviados por cada revolución del motor, de esta manera la frecuencia de los pulsos se calcula de la siguiente manera:

$$f = \frac{1}{s} \quad (2.1)$$

En donde:

f : Frecuencia de los pulsos (Hz)

s: Ancho del pulso (s)

Por ejemplo, en ralentí las revoluciones del motor son 350 rpm. Si se realiza un pulso por cada revolución, la frecuencia de los pulsos se determina de la siguiente manera:

$$rps = \frac{350}{60}$$

$$rps = 5,8$$

Donde:

rps : Revoluciones por segundo

Al generarse 1 pulso por revolución, la frecuencia sería 5,8 Hz. El tiempo de cada pulso resulta:

$$s = \frac{1}{5,8 \text{ Hz}}$$

$$s = 0,17 \text{ seg}$$

De acuerdo a esto, para el diseño y la construcción del banco de pruebas, se necesitarán los siguientes elementos:

- 2 potenciómetros
- 6 luces Led
- 4 disipadores de calor
- 17 resistencias
- 7 condensadores tipo disco
- 9 diodos
- 2 circuitos integrados 555
- 4 relés
- 4 transistores
- 1 cable plano de 5 líneas
- 2 borneras

Existen varias herramientas informáticas que prestan facilidades para el diseño electrónico, siendo el software Java y Netbeans una opción idónea para el diseño del generador de pulsos.

“Netbeans” captura y permite la esquematización, simulación e impresión de circuitos electrónicos, trabajando con los siguientes módulos básicos:

- ISIS (“Intelligent Schematic Input System”), módulo de captura de esquemas.
- VSM (“Virtual System Modelling”), módulo de simulación, incluyendo PROSPICE.
- ARES (“Advanced Routing Modelling”), módulo para realización de circuitos impresos (PCB).

En la figura 19 se observa la representación de los componentes del generador de pulsos en el software de diseño electrónico.

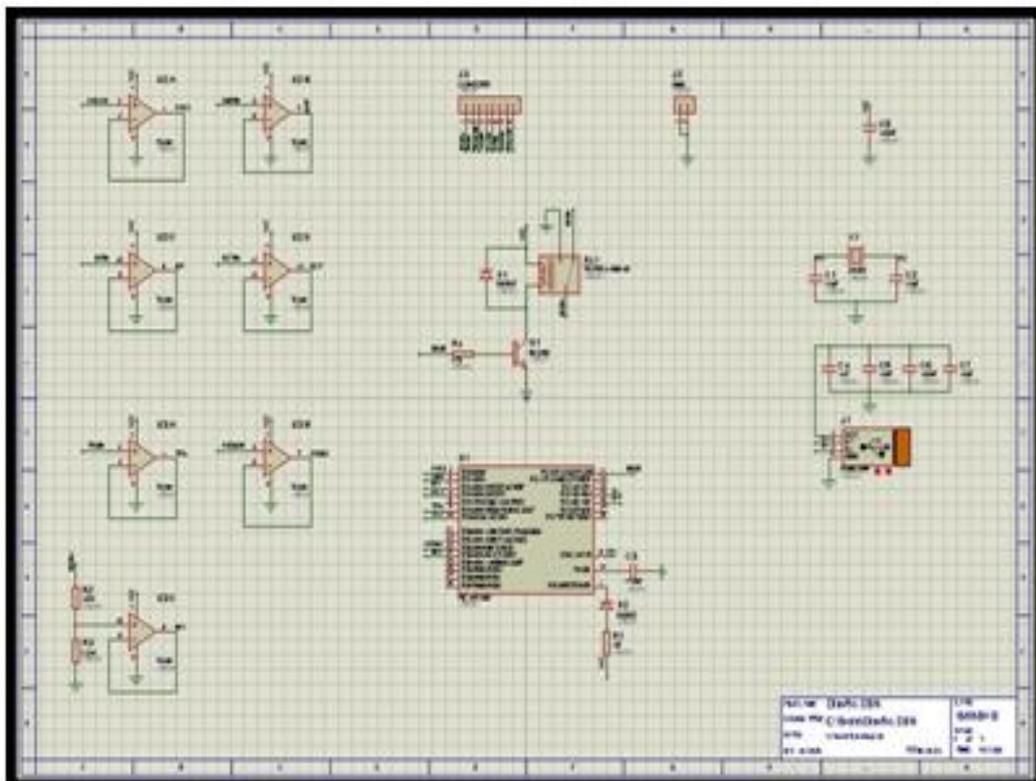


Figura 19 Esquema electrónico del generador de pulsos

(Correa A, 2017)

2.2.2 Selección del micro controlador

Existen tarjetas armadas que ayudan con la programación del circuito electrónico, como es el caso del Arduino Uno que se observa en la figura 20.



Figura 20 Placa Arduino Uno

(Arduino, 2016)

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un micro-controlador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinares.

Esquemáticamente, la placa Arduino se muestra en la figura 21 con sus puertos de conexión.

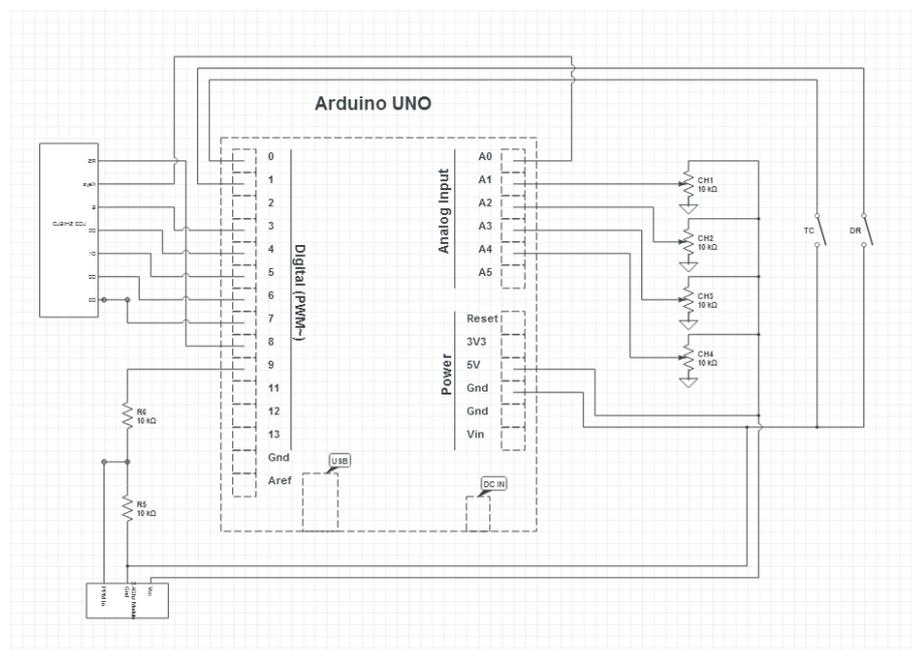


Figura 21 Esquema de la placa Arduino

(Correa A, 2017)

Para la selección del micro controlador se debe conocer las características de funcionamiento del mismo y las necesidades para el diseño requerido, en funciones como la velocidad de procesamiento de datos, el tipo de conectividad, el número de entradas y salidas necesarias, entre otras.

Existen varios fabricantes de micro controladores como Microchip Technology Inc, el mismo que produce micro controladores Pic de 32 bits de arquitectura interna de fácil comprensión, brindando beneficios en costos, además de ser favorable para la aplicación en la programación de las funciones del proyecto. Los siguientes aspectos mostrados en la tabla 6 fueron analizados para la selección del Pic.

Tabla 6 Parámetros de selección del Pic

Parámetros para selección del Pic	
Entradas a manejar	3 (inyectores de los que se obtienen los datos)
Voltaje de operación	0-5 V (Señal a visualizar), 12V (Inyectores)
Corriente	0,5A
Conectividad	USB

(Arduino, 2016)

Luego de analizar los requerimientos del proyecto el Pic 18F2550 cumple con los aspectos para ser aplicado. El esquema de distribución de pines del Pic se observa en la figura 22.

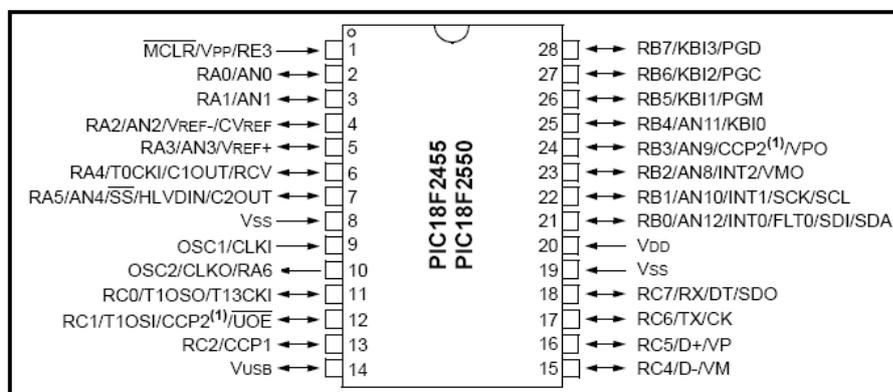


Figura 22 Distribución de pines del Pic 18F2520

(Microchip, 2012)

En la tabla 7 muestra las especificaciones técnicas del Pic seleccionado.

Tabla 7 Características del Pic 18F2520

CARACTERÍSTICAS	PIC 18F2550
Frecuencia de operación	48MHz-DC
Interface USB de alta velocidad	12 Mbits
10-Bit analógico-digital	10 canales de entrada
Memoria de programa	32 Kb
Memoria RAM	2048 bytes
EEPROM	256 bytes
Voltaje de operación	2 a 5.5 v
Total de pines	28

(Microchip, 2012)

2.3 Desarrollo y programación del software

El software debe cumplir con las funciones necesarias para poder controlar la apertura y cierre del inyector, generar pulsos con frecuencia e intensidad variable, creando un fallo en el sistema de inyección, al activarlos o desactivarlos. El generador además debe crear la comunicación vía USB con el computador para que los datos sean enviados entre sí, como se observa en la figura 23 que se muestra a continuación.

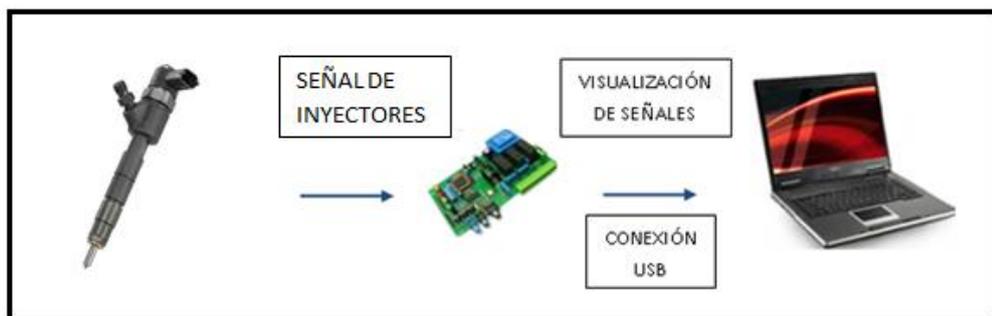


Figura 23 Esquema de conexión Inyectores-Computador

(Correa A, 2017)

En el computador, el software se visualiza como se ve en la figura 24.

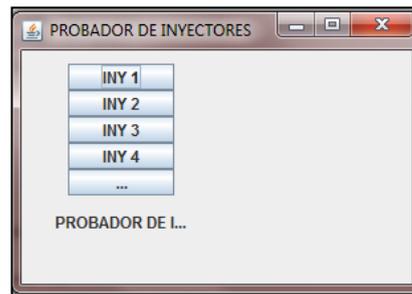


Figura 24 Visualización en el computador

(Correa A, 2017)

Se ocupan herramientas de software como son el Netbeans IDE 8.0.2, necesario para la programación del micro controlador y el JAVA para la apertura y cierre de los inyectores desde la computadora. Se inicia con el programa con Netbeans IDE 8.0.2 que tiene en la pestaña (file) la opción (Open Project) en donde se encuentra dos archivos, el primero para la programación del micro controlador y el segundo para la programación del JAVA, generando automáticamente una comunicación USB entre los programas para que se reconozcan. El interfaz del software Netbeans IDE se observa en la figura 25.

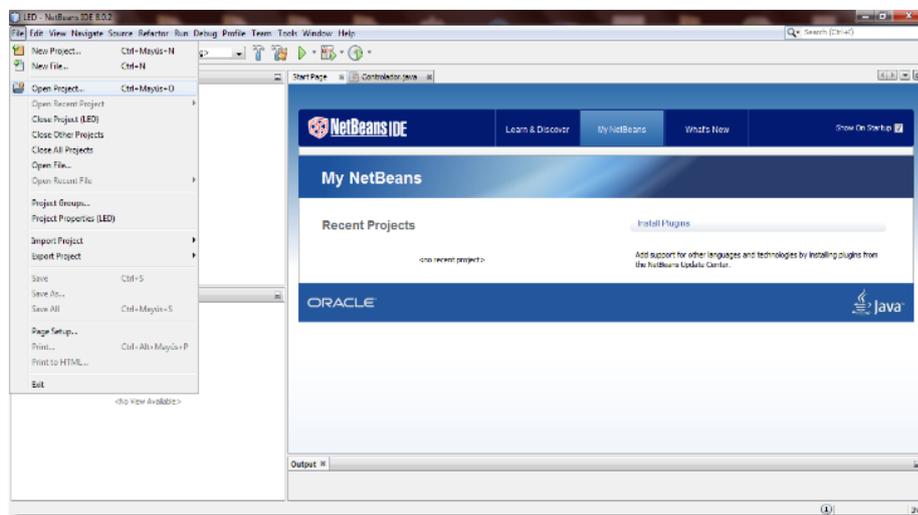


Figura 25 Interfaz de obtención de archivos para la programación

(Correa A, 2017)

La programación del micro controlador se la desarrolla mediante el lenguaje Pic Basic Pro (PBP), debido a que es un compilador de lenguaje de alto nivel que hace más fácil

y rápida la programación.

Para iniciar con la programación se localiza el archivo creado en el NetBeans IDE 8.0.2 ver figura 26, para en esta digitar las líneas de programación según lo requerido en la descripción del software, plasmándolas en el Anexo1.

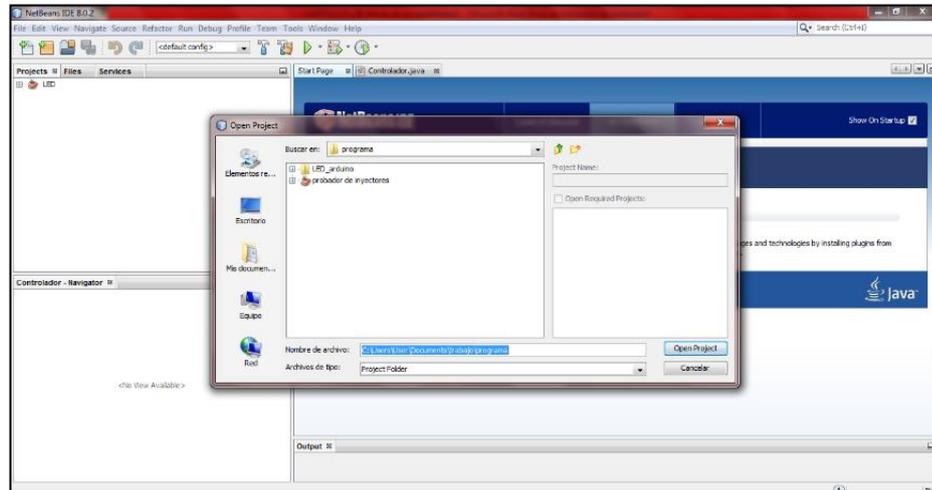


Figura 26 Apertura de archivo para programación del micro controlador
(Correa A, 2017)

Realizada la programación, es necesario almacenarla en el Pic, con la ayuda de un grabador y el software Java como se observa en la figura 27.



Figura 27 Almacenamiento de la información en el Pic
(Correa A, 2017)

Java traduce la programación implantada en Pic Basic en un lenguaje entendible para el micro controlador, creando un archivo Pic Basic con extensión (HEX), compilando de esta manera la programación transformada a un lenguaje hexadecimal.

Luego para la programación del software del computador, se localiza el archivo que fue creado por el NetBeans IDE 8.0.2 con el Java que ya posee códigos que son cargados por el dispositivo al conectar el generador de pulsos con el computador.

Posteriormente se programa en el archivo abierto en un lenguaje parecido al del micro controlador ver figura 28, las líneas de la programación se plasman en el Anexo 1.

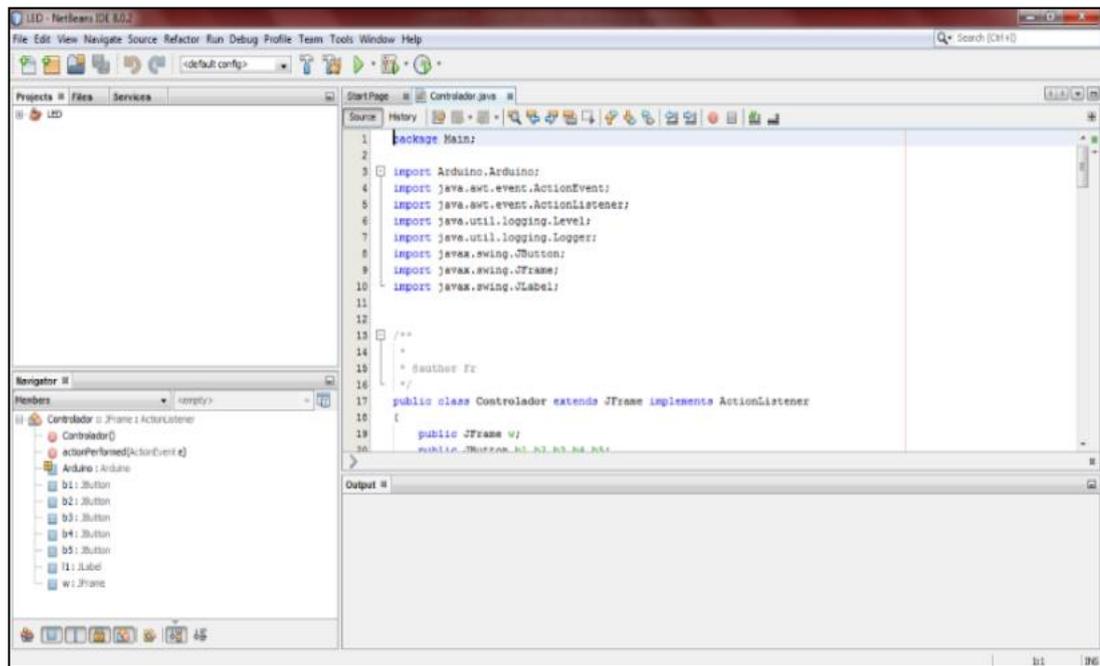


Figura 28 Apertura de archivo para programación en NetBeans

(Correa A, 2017)

Una vez realizada la programación en NetBeans IDE 8.0.2 y Java respectivamente se procede a dar la nomenclatura a utilizar, para la apertura y cierre de inyectores, en este caso el nombre principal es Limpiador de Inyectores, y cada uno de los botones tendrá el número de inyector al que corresponden.

La programación con la nomenclatura respectiva se visualiza en la figura 29.

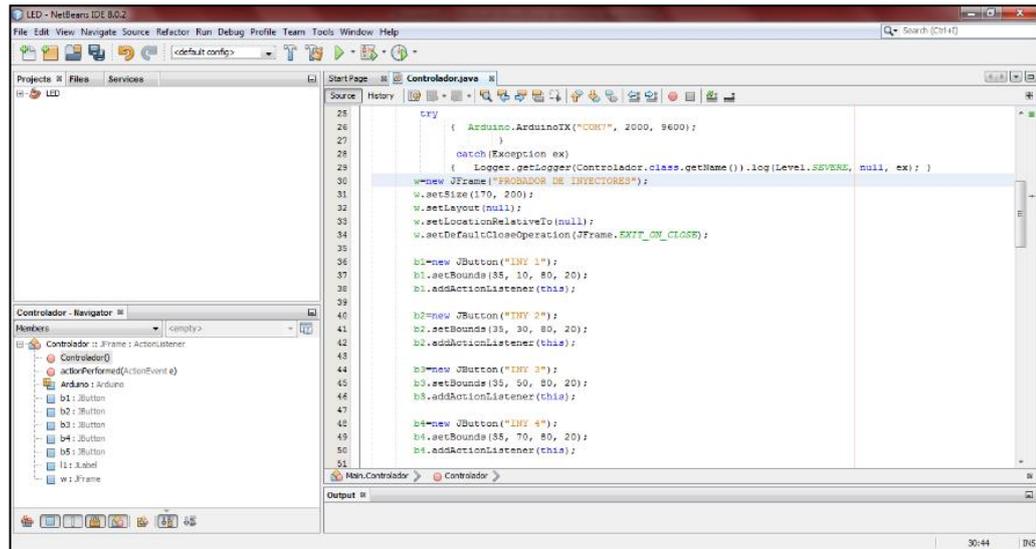


Figura 29 Nomenclatura y programación de apertura y cierre de inyectores
(Correa A, 2017)

2.4 Análisis de cargas y sujeción

Para realizar el análisis de las cargas en el banco de pruebas didáctico, es fundamental partir de los componentes que lo van a conformar. En la tabla 8 se muestran cada uno de los componentes con sus respectivos pesos.

Tabla 8 Pesos en el banco de pruebas didáctico

PESOS EN EL BANCO DIDÁCTICO					
I	Descripción	Unidad	Peso	Cantidad	Peso Aproximado
1	Motor trifásico 5hp	Kg	12	1	12
2	Tanque para Diésel	Kg	2	1	2
3	Distribuidor Alta presión	Kg	0,25	2	0,5
4	Inyectores	Kg	0,25	4	1
5	Bomba para alta presión	Kg	2	1	2
6	Probetas	Kg	0,125	4	0,5
7	Diésel	Kg	1	1	3
PESO TOTAL PARA CARGA DE ESTRUCTURA (Kg)					21

(Correa A, 2017)

Se realizan las simulaciones en el software de diseño mecánico mediante el cual se obtienen los valores de esfuerzo, deformación y factor de seguridad de la estructura del banco de pruebas al soportar las cargas.

Se selecciona el acero estructural ASTM A 36 debido a las características de resistencia a los esfuerzos además la disponibilidad en el mercado. El análisis de la

tensión principal de Von Mises se observa en la figura 30.

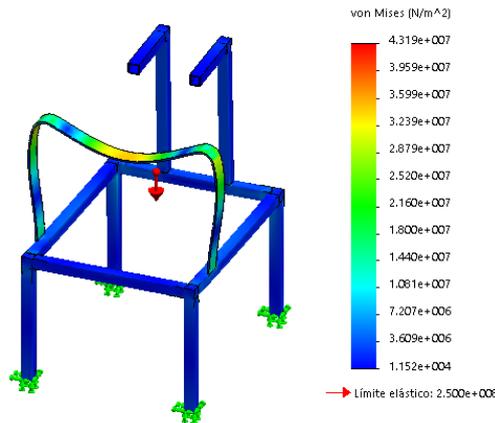


Figura 30 Tensión de Von Mises
(Correa A, 2017)

La tensión de Von Mises o la mayor concentración de esfuerzos se ubican en la barra que soporta los inyectores. El valor de este esfuerzo máximo es $4,32 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Este valor es fundamental ya que si excede el límite elástico del material cuyo valor es $2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ (250 Mpa) ver Anexo 2, la estructura no resiste los esfuerzos a los que se somete.

Con la fórmula para determinar el factor de seguridad se verifica si el soporte del banco didáctico resiste o no los esfuerzos. La fórmula para el cálculo del factor de seguridad se muestra a continuación:

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{perm}} \quad (2. 2)$$

De donde:

F_s = factor de seguridad

S_y = límite elástico

σ_{perm} = tensión de Von Mises

Reemplazando los valores en la ecuación 2.2:

$$F_s = \frac{250 \text{ (Mpa)}}{43,19 \text{ (Mpa)}}$$

$$F_s = 5,8$$

El valor mínimo del factor de seguridad debe ser 1, y en el cálculo realizado, se obtiene un valor de 5,8 lo que indica que si resistirá a los esfuerzos. Para verificar este análisis, se realiza la simulación que indica el valor del factor de seguridad en el software. Ver figura 31

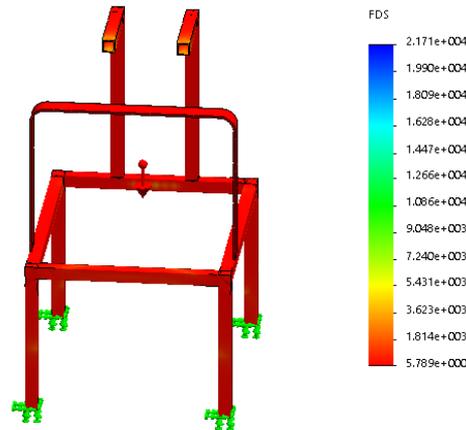


Figura 31 Factor de seguridad en el banco de pruebas
(Correa A, 2017)

El factor de seguridad mínimo es 5,78 muy cercano al valor calculado, así se puede determinar que el banco de pruebas soporta sin inconvenientes las cargas aplicadas.

Otro aspecto importante es conocer en qué zonas de la estructura existe una mayor deformación y en este caso, se genera en la zona donde se alojan los inyectores con un valor de 1,1 mm como se observa en la figura 32.

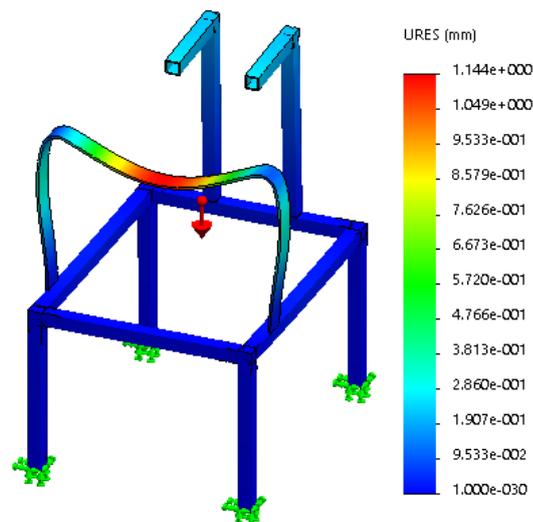


Figura 32 Deformación máxima en la estructura
(Correa A, 2017)

CAPÍTULO III

ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DIDÁCTICO

Se desarrolla el ensamblaje del sistema didáctico y generador de pulsos, en base a los elementos indicados en el capítulo II; los mismos, que sirven como guía, para el ensamble adecuado de los componentes y materiales seleccionados que satisfacen las necesidades del sistema. Además se verifica el que cada elemento satisfaga los requerimientos del sistema en mención.

3.1 Ensamble del soporte y componentes de la máquina limpia inyectores.

En los planos de la estructura del sistema a escala, que se realizaron en el software de dibujo (Autodesk Inventor.), que sirve como pauta para identificar el espacio donde se van a ubicar los componentes internos y efectuar la construcción; en la figura 33 se indica la gráfica del sistema.

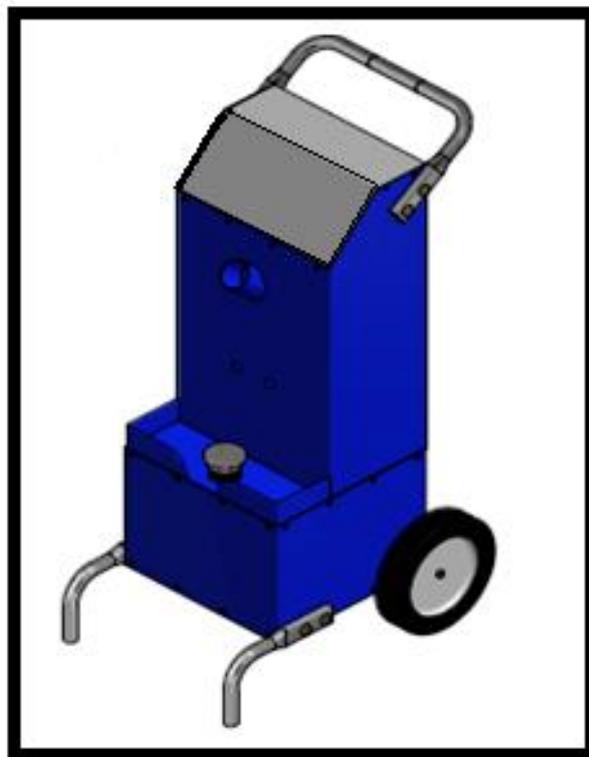


Figura 33 Estructura del Banco

(Correa A, 2017)

3.1.1 Materiales utilizados para el ensamble de la máquina limpia inyectores

Para el ensamble de las partes internas de la estructura, se considera los siguientes materiales a utilizar. Ver tabla 9

Tabla 9 Materiales para el ensamblaje del sistema didáctico.

Descripción	Cantidad
Manguera de combustible de ½ “	2.3 metros
Acoples varios con rosca para manguera	18 unidades
Plancha de tol galvanizado de 0.75mm	5 metros
Tubo de acero inoxidable de 1”	1 metro
Cable eléctrico # 14	4 metros
Ganchos pequeños para sujeción de cables	4 unidades
Cable para conexión a la batería	3 metros
Ganchos grandes para sujeción de manguera	2 unidades
Pernos M 14	8 unidades
Tornillos varios	30 unidades
Lija de hierro #100	5 unidades
Lija de agua # 400	8 unidades
Eje para ruedas	1cm Ø x 60 cm
Fondo anticorrosivo	1litros
Pintura color negro mate	1 litro
Llantas de 25cm Ø	2 unidades
Broca de metal 3/16	1unidades
Bridas plásticas	8 unidades
Tapa de combustible	2 unidades

(Correa A, 2017)

3.1.2 Montaje de los componentes internos de sistema didáctico

Una vez armada la estructura y diseñado el espacio interior, se procede a ubicar cada uno de los componentes, los cuales se detallan en la tabla 10.

Tabla 10 Componentes del sistema didáctico

Descripción	Cantidad
Tablero de mando	1
Bomba de presión Flojet	1
Sirena de aviso	1
Válvula check	1
Electroválvula	3
Filtro de combustible	1
Depósito de combustible	1
Depósito de aditivos	1
Swich de vacío	1
Medidor de combustible	1

(Correa A, 2017)

3.1.2.1 Tablero de mando

El tablero de mando figura 34, se encuentra situado en la parte superior de la máquina, su función es comandar electrónicamente las diferentes etapas de la limpieza de inyectores Diésel, tales como:

- Encendido/ Apagado de la máquina
- Tiempo de limpieza
- Llenado de combustible
- Empezar la limpieza
- Detener la limpieza
- Alarma de aviso
- Nivel de combustible

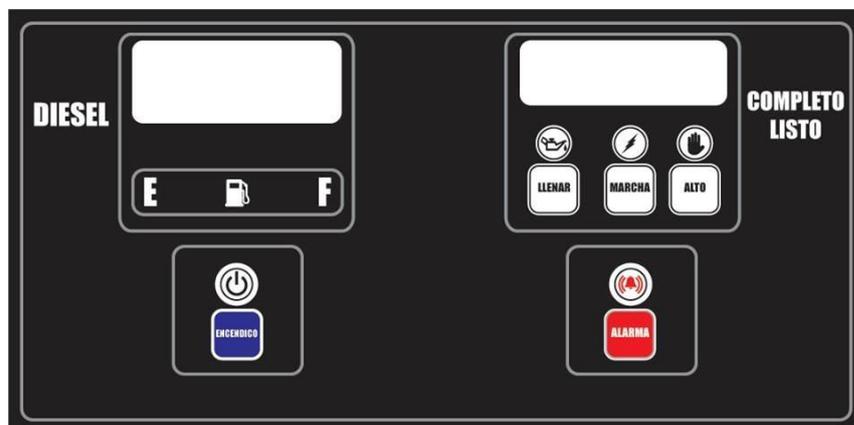


Figura 34 Tablero de mando del sistema didáctico

(Correa A, 2017)

3.1.2.2 Bomba de presión Flojet

La bomba de presión Flojet (figura 35), está construida para soportar altas presiones, posee un switch automático incorporado que controla las aperturas y cierres de paso del combustible hacia el sistema. (Flojet 20100 series) Además se auto lubrica con el combustible que circula en su interior, sus características principales son las siguientes:

- Flujo de 7,6 l/min
- Ciclos de operación de 50 a 60 Hertz
- Presión de trabajo 4,2 BAR
- Temperatura de flujo 71°C



Figura 35 Bomba de presión del sistema didáctico
(Correa A, 2017)

3.1.2.3 Sirena de aviso

La sirena, está colocada en la parte interior de la estructura, la misma que tiene la misión de dar a conocer el momento exacto en el cual el ciclo de limpieza ha terminado o que los inyectores están limpios, y se puede apagar la máquina. Ver figura 36



Figura 36 Sirena de aviso del sistema didáctico
(Correa A, 2017)

3.1.2.4 Válvula check

Esta válvula se ubica en la parte posterior del tanque de combustible, la misma que cumple con la función de permitir el paso del fluido en una sola dirección, sin dejar que este regrese e ingrese nuevamente en el tanque, se la conoce también como válvula unidireccional. Figura 37



Figura 37 Válvula check del sistema didáctico

(Correa A, 2017)

3.1.2.5 Electroválvulas

Una electroválvula, tiene la función de controlar el paso de combustible por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide y tiene dos posiciones: abierto y cerrado. Las electroválvulas se usan en diferentes aplicaciones en este caso controlar el flujo de la mezcla combustible - aditivo. Figura 38



Figura 38 Electroválvulas del sistema didáctico

(Correa A, 2017)

3.1.2.6 Filtro de combustible

El filtro, se encuentra dentro de un sistema de decantación, el cual permite separar y drenar el agua que pueda contener el combustible, ayudando a la máquina para que realice una limpieza óptima.

Este componente se encuentra ubicado en la parte exterior de la estructura, para facilitar el remplazo del elemento filtrante, el cual se encuentra encapsulado y protegido por partes de metal y plástico, el mismo que nos permite observar las impurezas en el combustible y el estado del filtro. Figura 39



Figura 39 Partes y elementos del filtro de combustible
(Correa A, 2017)

3.1.2.7 Depósito de combustible

El depósito, se encuentra ubicado en la parte inferior de la máquina, tiene por objeto almacenar el combustible de manera hermética para evitar fugas por volatilidad, además es resistente a la corrosión. Figura 40



Figura 40 Depósito de combustible
(Correa A, 2017)

3.1.2.8 Depósito de aditivos

Este depósito, se encuentra ubicado en la parte interna de la máquina, aunque el tubo de ingreso de los aditivos sobresale en la parte frontal de la misma, posee conexiones mediante mangueras hacia la bomba y el filtro de combustible, para que puedan mezclarse con el combustible al momento de la limpieza de los inyectores. Figura 41

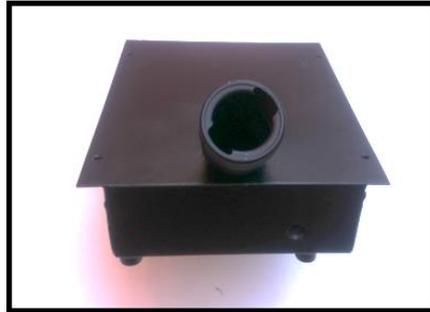


Figura 41 Depósito de aditivos

(Correa A, 2017)

3.1.2.9 Switch de vacío

El switch de vacío ver figura 42, tiene la misión de cortar la corriente eléctrica en caso de cortocircuitos y otras fallas eléctricas, y permiten la desconexión manual de los circuitos para situaciones de reparaciones y mantenimiento.

Al suceder una falla eléctrica en el circuito corta el flujo de combustible en el sistema, para evitar fugas y posibles pérdidas y daños de otros componentes.



Figura 42 Switch de vacío del sistema didáctico

(Correa A, 2017)

3.1.2.10 Medidor de combustible

Este componente eléctrico, se encuentra sumergido en el tanque de combustible y envía señales al indicador del tablero de mando, para mostrar el nivel de combustible existente. Figura 43



Figura 43 Medidor de combustible
(Correa A, 2017)

3.2 Ensamblaje de los elementos del sistema didáctico

Una vez ensamblado el sistema didáctico, se obtendrá como resultado el equipo mostrado a continuación en la figura 44.

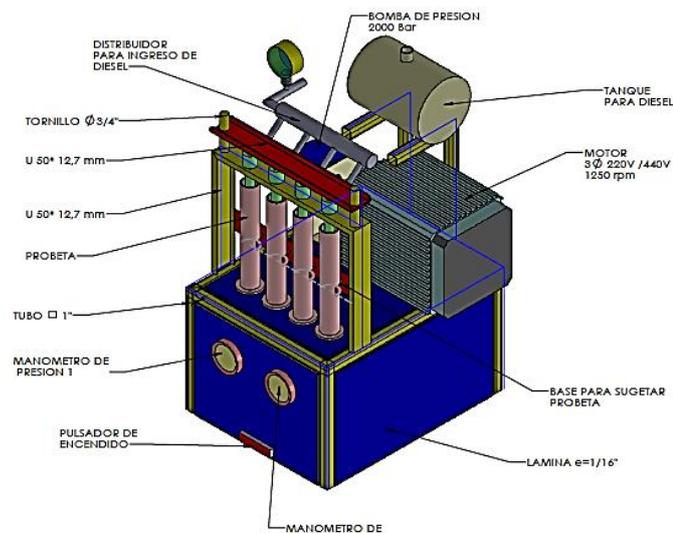


Figura 44 Máquina de simulación
(Correa A, 2017)

3.2.1 Montaje de los elementos que conforman el banco didáctico

En base a los componentes mostrados en la figura 44, es necesario enumerar a los materiales necesarios en el ensamblaje del equipo y se muestran en la tabla 11.

Tabla 11 Materiales para el banco de pruebas didáctico

MATERIALES PARA EL BANCO DIDÁCTICO	
Soporte	1
Motor Eléctrico trifásico	1
Inyectores	4
Riel (presión y retorno)	2
Bomba de alta presión	1
Filtro de combustible	1
Depósito de combustible	1
Soporte para probetas	1
Probetas	4
Abrazaderas Grandes	2
Mangueras	2
Pernos grandes de soporte	2
Tuercas grandes de soporte	2
pernos M12	4
Pernos M14	2
Engranés	2
Variador de frecuencia	1
Bridas pequeñas	4
Acoples	varios

(Correa A, 2017)

A continuación, se describen a los materiales instalados en el sistema.

3.2.1.1 Bomba de alta presión

Al conocer que la máquina de limpieza suministra una presión de 3.5 bar la cual no es la suficiente para vencer la resistencia interna del inyector y así permitir que el mismo se abra, es indispensable colocar esta bomba de alta presión, que ayuda a elevar la presión a 1800 bar y así lograr la atomización del combustible a través del inyector.

La presión del CRDI, cuando está en ralentí y en carga baja, una presión baja de inyección (aproximadamente 200 bar) hace posible que se obtenga una mejor tasa de inyección y un ajuste muy preciso de la cantidad de combustible inyectado.

A plena carga, las presiones altas de inyección (de aproximadamente 1400 bar) aseguran atomización muy fina del combustible (Kia Motors Corp. 2003).

La bomba de alta presión se observa en la figura 45.



Figura 45 Bomba de alta presión.
(Correa A, 2017)

3.2.1.2 Riel de inyectores

La Riel ver figura 46, tiene la misión de almacenar combustible a alta presión. La presión en el distribuidor de combustible común para todos los cilindros se mantiene a un valor casi constante incluso al extraer grandes cantidades de combustible que se visualizaran en las pruebas de funcionamiento. Con esto se asegura que permanezca constante la presión de inyección al abrir el inyector.



Figura 46 Riel de inyectores
(Correa A, 2017)

3.2.1.3 Mangueras

Los conductos, deben estar dispuestas de tal forma que se impidan los daños mecánicos

y que el combustible que gotea o se evapora no pueda acumularse o inflamarse.

Las mangueras de combustible presentan la ventaja de ser flexibles para disponerlas de acuerdo a la necesidad en el banco didáctico y se observan en la figura 47.



Figura 47 Mangueras
(Correa A, 2017)

3.2.1.4 Inyectores

El inyector, del sistema Common Rail se activa de forma electrónica a diferencia de los utilizados en sistemas que funcionan con bomba rotativa que inyectan de forma mecánica. Con esto se consigue mayor precisión al momento de inyectar el combustible y se simplifica el sistema de inyección, para ello debe:

- Permitir inyecciones múltiples.
- Permitir inyectar cantidades cada vez más pequeñas.
- Inyectar a presiones elevadas.
- Distribuir de manera homogénea la cantidad inyectada.



Figura 48 Inyectores

(Luigimixx, 2013)

3.2.1.5 Circuito de retorno de combustible

Este circuito tiene la misión de ajustar y mantener la presión en la "Rail de retorno", dependiendo del estado de carga del motor. Ver figura 49.

En caso de una presión demasiado alta en el circuito, los inyectores regulan la presión, se abren de forma que una parte del combustible retorna al depósito, a través de una tubería colectora.

En el caso de una presión demasiado baja en el circuito, los inyectores se cierran y se logra estanquidad en el lado de baja presión contra el lado de alta presión.



Figura 49 Retorno de combustible

(Correa A, 2017)

3.2.1.6 Soportes

Los soportes, son los encargados de ubicar los componentes de forma ordenada y segura, dándole de esta forma estabilidad al momento del funcionamiento de la máquina. Figura 50.



Figura 50 Soportes
(Correa A, 2017)

3.2.1.7 Motor trifásico

El motor utilizado en el presente proyecto es un Siemens con la carcasa y escudos de fundición gris proporcionan una integridad estructural excepcional y resistencia a la corrosión. Es un motor trifásico, su potencia es de 5hp y funciona a 220 V. Es aislado a cualquier agente externo y además posee un ventilador antichispa para su enfriamiento. El motor eléctrico empleado en el presente proyecto se observa en la figura 51.

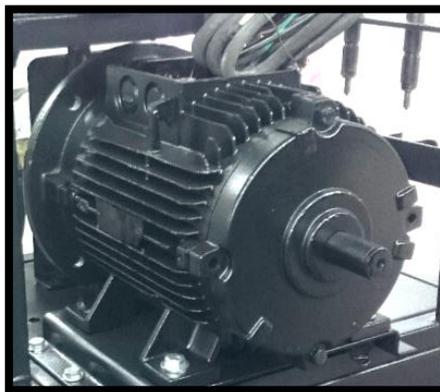


Figura 51 Motor eléctrico trifásico
(Correa A, 2017)

3.2.1.8 Depósito de combustible

El depósito de combustible o tanque de combustible, es un contenedor cilíndrico seguro para líquidos inflamables, en el cual se almacena el combustible diésel, que es propulsado (mediante la bomba de combustible) o liberado (como gas a presión) en un motor y se lo puede visualizar en la figura 52.



Figura 52 Depósito de combustible
(Correa A, 2017)

3.2.1.9 Manómetro

El manómetro permite observar la presión del combustible en el riel de inyectores. Es un elemento construido externamente de acero inoxidable, puede medir presiones hasta de 2500 bar y se observa en la figura 53.



Figura 53 Manómetro
(directindustry.es)

3.3 Construcción del generador de pulsos

En base al diseño realizado, se imprime el rotulado de la placa generada en el programa Java, sobre una placa con recubrimiento de cobre, la misma debe tener el tamaño donde se va a crear el circuito impreso. Ver figura 54

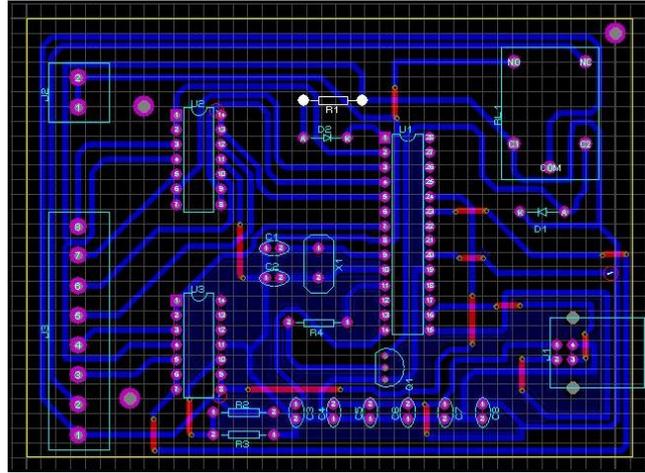


Figura 54 Rotulado de la placa

(Correa A, 2017)

La impresión del rotulado se la se la realiza sobre papel calco y se la lleva a la baquelita de cobre para que con la aplicación de calor se pase el rotulado a la misma y de esta manera quede dibujado sobre las partes de cobre, luego con marcador permanente repasar dicho rotulado ver figura 55. Por último se sumerge la placa sobre percloruro de hierro de modo que el cobre que no ha sido aislado se desprenda de la misma, quedando finalizada la construcción de la placa.



Figura 55 Rotulado de la placa en la baquelita

(Correa A, 2017)

Posteriormente se taladra los huecos donde se alojarán los pines de los componentes para posteriormente soldarlos. Como se observa en la figura 56.

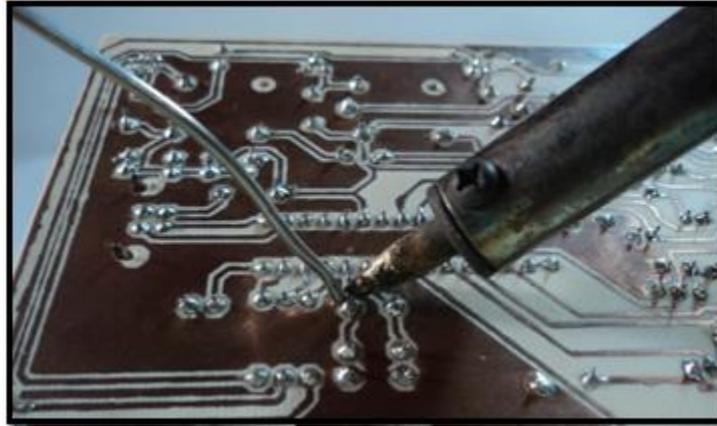


Figura 56 Soldado de componentes en la placa
(Correa A, 2017)

3.4 Conexiones del tablero de mando

Las conexiones del tablero de mando se ubican en la parte superior de la máquina de limpieza la cual consta de una placa electrónica con cuatro borneras a las cuales van conectados los siguientes componentes. Figura 57.

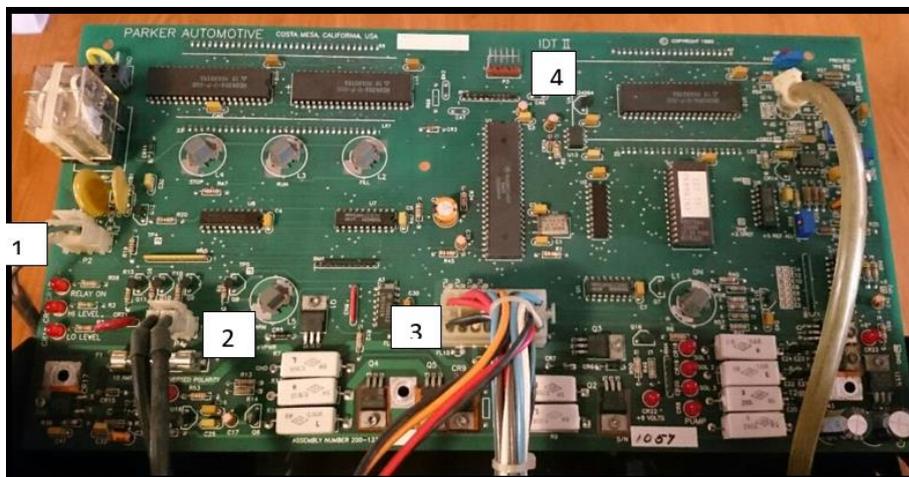


Figura 57 Identificación de borneras
(Correa A, 2017)

- Bornera 1. Consta de 3 pines los cuales van conectados a la bobina, por seguridad.

- Bornera 2. Consta de 2 pines los cuales van conectados directamente a la batería.
- Bornera 3. Consta de 16 pines los cuales van conectados a siguientes componentes:
 - Sirena.
 - Bomba Flojet.
 - Válvula check.
 - Electroválvula.
 - Switch de vacío
 - Medidor de combustible
- Bornera 4. Es una bornera plana de 5 pines los cuales van conectados mediante cinta electrónica hacia los indicadores del tablero.

3.5 Conexión de la tarjeta electrónica

Su conectividad es esencial para el intercambio de información entre una fuente de alimentación de 12V y los inyectores, la tarjeta electrónica y el software del computador, resultando fundamental una comunicación sin interrupciones y con valores exactos de tensión y corriente para no interferir en el funcionamiento normal del sistema; esto, con el uso de uniones soldadas y cables acordes a la función que cumplen con el fin de evitar deterioros y desconexiones en el futuro. Para la conectividad de la tarjeta se han montado dos borneras. Ver figura 58.

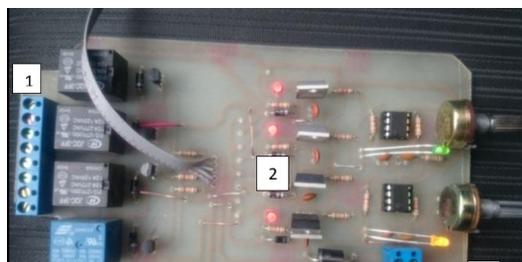


Figura 58 Conexión de tarjeta electrónica
(Correa A, 2017)

- Bornera 1.- consta de 8 pines los cuales están distribuidos para los 4 inyectores en pares (positivo y negativo).

- Bornera 2.- consta de una bornera plana de 5 pines, los cuales van conectados al ARDUINO y este mediante cable USB a una computadora de escritorio.
- Bornera 3.- consta de 2 pines los cuales van conectados a una fuente de alimentación de 12V.

3.6 Manual de uso

En el presente proyecto, se diseñan y construyen 2 máquinas (de limpieza de inyectores y de simulación de inyección), y a continuación se detalla el funcionamiento de cada una de ellas.

3.6.1 Máquina de limpieza de inyectores

Ofrece mantener a los inyectores del sistema de inyección diésel Common Rail libre de impurezas mediante un control electrónico amigable, una estructura portátil y una limpieza eficiente. La máquina de limpieza de inyectores se observa en la figura 59.



Figura 59 Máquina de limpieza de inyectores.
(Correa A, 2017)

La máquina de limpieza para inyectores de un sistema Common Rail posee las siguientes especificaciones técnicas. Ver tabla 12.

Tabla 12 Especificaciones técnicas de la máquina de limpieza de inyectores

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje nominal	12 V
Volumen del depósito	2 L
Tipo de aditivo	Por microdispersión y disolución
Cantidad de aditivo	5 ml/cada litro
Dimensiones	0,5 x 0,4 x 1 m
Peso	10 kg

(Correa A, 2017)

Para el correcto funcionamiento de esta máquina, es necesario proceder con los pasos detallados a continuación:

a) Colocar en el depósito inferior de combustible la cantidad necesaria de Diésel para que la máquina pueda funcionar (2 galones). En la figura 60 se muestra el lugar por donde debe ser llenado el combustible.



Figura 60 Entrada y salida de combustible

(Correa A, 2017)

b) Colocar en el depósito superior la cantidad de aditivo necesaria para proceder a la limpieza de inyectores. Con el objetivo de no deteriorar los componentes plásticos que se encuentran en la bomba, además que tenga compatibilidad con convertidores catalíticos y sensores, debe poseer las siguientes características:

- Bajo contenido de azufre
- Funcionamiento por micro dispersión y disolución
- Lubricante

- Anticorrosivo
- Específicamente para diésel Common Rail

Un aditivo que posee las características mencionadas anteriormente y que se recomienda utilizar es el Liqui Moly, el mismo que se puede observar en la figura 61.



Figura 61 Aditivo limpia inyectores

(Correa A, 2017)

En la figura 62 se muestra el sitio por donde se puede alimentar el aditivo al equipo.



Figura 62 Ingreso aditivo

(Correa A, 2017)

c) Conectar los cables de alimentación a una fuente de alimentación externa de 12V. La fuente de alimentación para la máquina de limpieza de inyectores es una batería de 12 V y 75 Ah y se indica en la figura 63. Es importante tomar en cuenta trabajar en un

área libre de agua o fluidos que puedan tener contacto con las conexiones eléctricas de la máquina.



Figura 63 Fuente de alimentación externa.

(Correa A, 2017)

d) Acoplar las mangueras de combustible, tanto de entrada (después del filtro de combustible del vehículo) como la de retorno (al depósito) verificando que se encuentren correctamente acopladas y evitar la presencia de fugas. Figura 64.

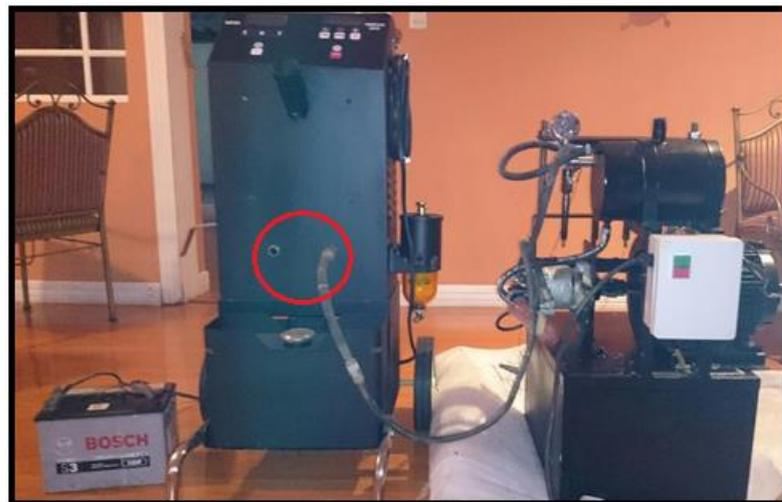


Figura 64 Entrada y salida de combustible.

(Correa A, 2017)

- e) Con el botón de encendido marcado en el círculo rojo en la figura 65 del tablero de mando activar la máquina.

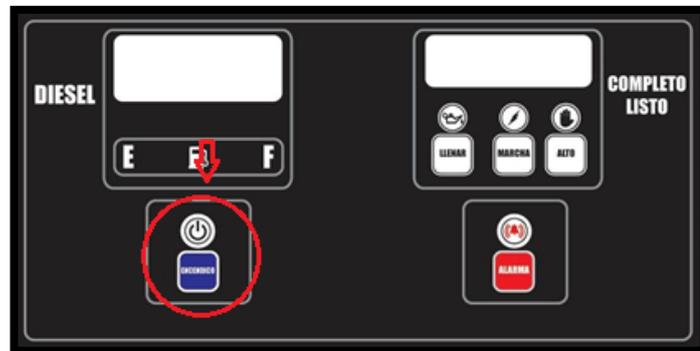


Figura 65 Botón de encendido

(Correa A, 2017)

- f) Con la ayuda de los botones del tablero de mando, escoger el llenado, marcha y tiempo necesario para la limpieza de inyectores. Manteniendo el vehículo a 2000rpm. En la figura 66 se muestra el botón que debe ser presionado.

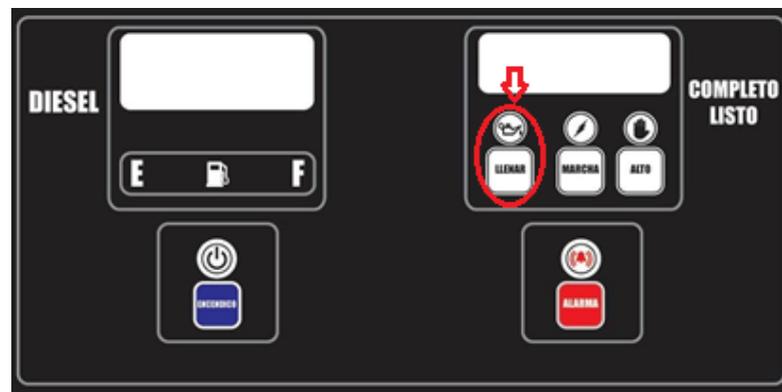


Figura 66 Botón de llenado de combustible

(Correa A, 2017)

- g) Encender la máquina de simulación con el botón que se muestra con la flecha en la figura 67 y esperar hasta que se realice la limpieza.

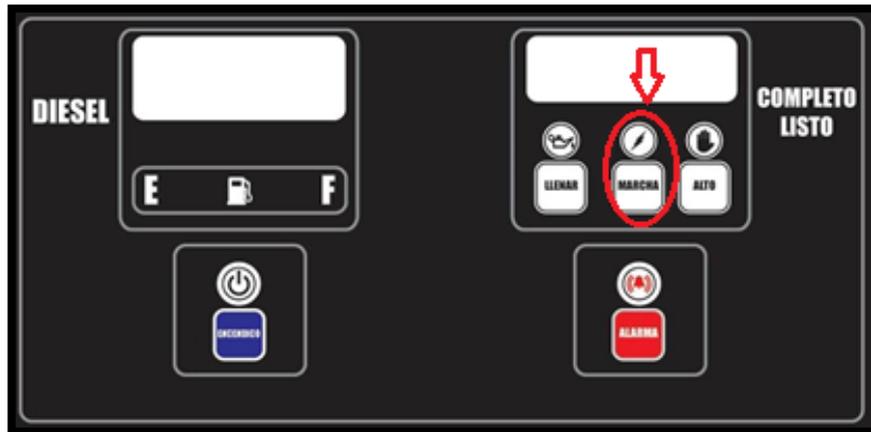


Figura 67 Botón de puesta en marcha
(Correa A, 2017)

- h) Revisar que no exista ninguna fuga de combustible, mientras la máquina se encuentra en operación.
- i) Si se comprueba alguna anomalía mientras la máquina está en operación, inmediatamente pulsar el botón ALTO del tablero de mando ver figura 68.

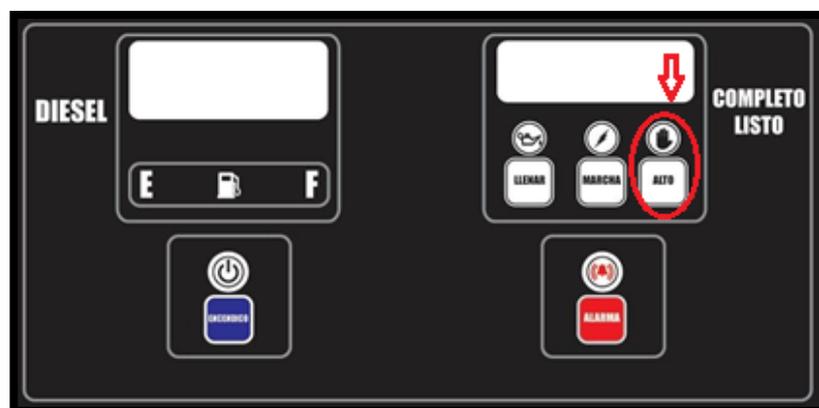


Figura 68 Botón de alto
(Correa A, 2017)

- j) Cuando se escuche la sirena que advierte la finalización de la limpieza, desacoplar las cañerías del vehículo. Ver figura 69.

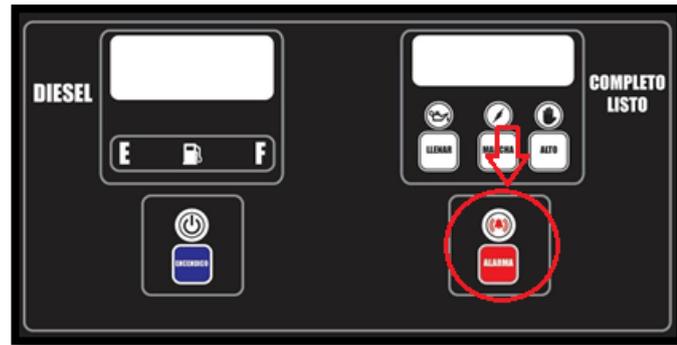


Figura 69 Botón de alarma
(Correa A, 2017)

- k) Apagar la máquina de limpieza con la ayuda de los botones del tablero.
- l) Desconectar la máquina de limpieza de la fuente de alimentación externa.
- m) Repetir los pasos anteriores para una próxima limpieza.

3.6.2 Máquina de simulación de inyección

La máquina de simulación de inyección permite la verificación del buen funcionamiento de los inyectores de un sistema de inyección diésel Common Rail a través de la medición del volumen de diésel inyectado en cada una de las 4 probetas de medición.

La máquina de simulación de inyección se observa en la figura 70.

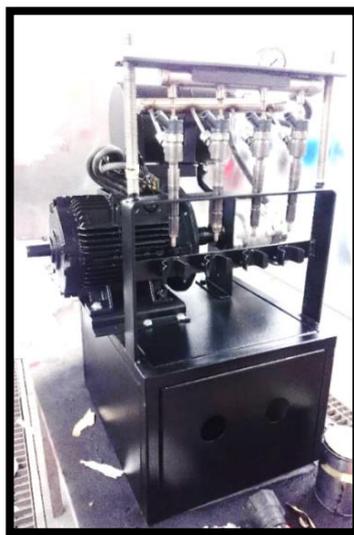


Figura 70 Máquina de simulación de inyección
(Correa A, 2017)

Las especificaciones técnicas de la máquina de simulación de inyección se detallan en la tabla 13:

Tabla 13 Especificaciones técnicas de la máquina de simulación de inyectores

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje nominal	220 V
Motor eléctrico	Siemens 5 HP
Bomba de alta presión	Delphi 200-1800 bar
Número de inyectores	4
Capacidad del depósito de combustible	8 l
Dimensiones	0,4 x 0,5 x 0,8 m
Peso	20 kg

(Correa A, 2017)

Para el correcto funcionamiento de esta máquina se debe seguir los siguientes pasos:

- a) El enchufe de la máquina (ver figura 71) debe ser conectado a una fuente de alimentación externa de 220V trifásica.



Figura 71 Conector de alimentación 220V trifásico

(Correa A, 2017)

- b) Activar la máquina con el botón VERDE del tablero de mando ver figura 72.



Figura 72 Botón de encendido (verde) máquina de simulación

(Correa A, 2017)

- c) Controlar los pulsos de inyección y las rpm del motor mediante los potenciómetros de la tarjeta electrónica que se muestra en la figura 73.

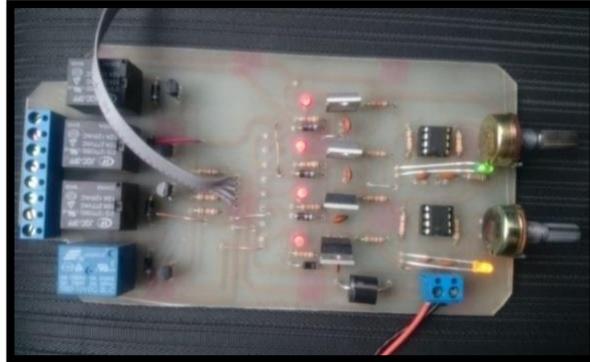


Figura 73 Tarjeta electrónica (potenciómetro)

(Correa A, 2017)

- d) Activar o desactivar el inyector deseado, desde la computadora con el probador de inyectores desarrollado ver figura 74.

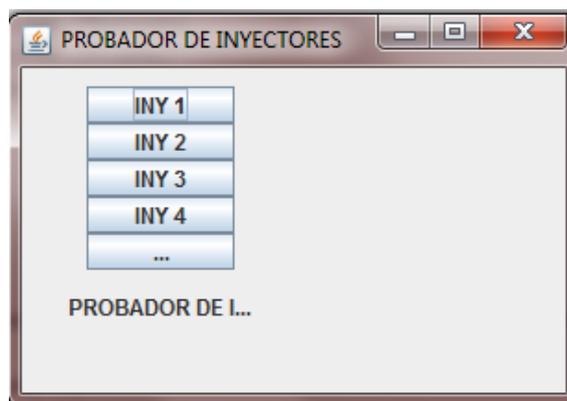


Figura 74 Activación y desactivación de inyectores

(Correa A, 2017)

- e) Realizar la cantidad suficiente de inyecciones hasta que se compruebe el estado de los inyectores.
- f) Observar siempre el nivel de combustible inyectado en las probetas de la máquina, para evitar derrames.

- g) Si existe alguna anomalía en el sistema durante su funcionamiento, inmediatamente activar el botón ROJO del tablero de mando que se muestra en la figura 75.



Figura 75 Botón de apagado (rojo) máquina de simulación

(Correa A, 2017)

- h) Una vez finalizada la simulación de inyección, apagar y desconectar la máquina.
- i) Vaciar las probetas.
- j) Repetir los pasos anteriores para una nueva simulación.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 Pruebas alternativas máquina simuladora de inyección.

De haber existido en el país una válvula reguladora de presión el sistema hubiera funcionado de manera óptima. Al buscar en el mercado nacional no se pudo encontrar una válvula que soporte la presión de 1800 bares por lo que se cotizó en otro país (EEUU), y haciéndolo al valor de 5.900 dólares más IVA y costos de envío, lo que hace que el presupuesto inicial se eleve de una manera excesiva y al ser la parte auxiliar de este proyecto no se justifica la inversión, en busca de una solución técnica y económicas se realizaron las siguientes pruebas alternativas:

- El uso de la riel de inyectores completamente sellada por uno de sus extremos, dando como resultado la respectiva inyección del inyector que se encuentra abierto a través de la tarjeta que dota de los pulsos correspondientes a cada inyector, pero por otro lado debido a la presión existente y de no disponer de ningún tipo de desfogue o retorno el motor propulsor se detiene lo que impide el correcto funcionamiento de la máquina simuladora de inyección. Al aflojar el tapón del riel y drenar el diésel el motor empieza su marcha de una manera normal pero con esto se pierde la presión requerida para la inyección.
- El uso de una válvula de esfera y resorte en uno de los extremos de la riel de inyectores, al realizar el giro horario – anti horario, de apertura o cierre de esta válvula se va regulando manualmente la cantidad de combustible que entra al sistema. En la posición completamente abierta no existe inyección y en la posición completamente cerrada existe inyección, pero la presión del sistema vence una vez más a esta válvula provocando su rotura interna.
- El uso de una válvula reguladora de presión de 140 bares, esa es la única válvula que se consigue en el país, dándonos el mismo resultado que en la prueba realizada con la válvula de esfera.

Debido a las pruebas descritas anteriormente se reemplazó la bomba de inyección por una nueva con las mismas características, ya que esta sufrió desgaste en su eje principal perdiendo presión de combustible a través de su retorno.

Vale recalcar que durante estas pruebas alternativas se tuvieron que tomar precauciones constantemente, ya que al trabajar con presiones tan elevadas se corrían riesgos de explosión en diferentes puntos de la máquina, por lo cual tomando en cuenta la información y las recomendaciones de los fabricantes y autores de la bibliografía consultada se comprobó que la utilización de equipos o componentes alternos no satisfacen el funcionamiento óptimo y seguro.

4.2 Pruebas en la máquina de simulación de inyección.

Las pruebas realizadas se han desarrollado con distintos valores de revoluciones del motor, presiones en el riel y ancho de pulso. Además, se revisan las presiones en los sistemas, la presencia de fugas y la homologación. A continuación, se describen cada una de estas pruebas.

4.2.1 Ralentí

En la prueba de ralentí, se simula una velocidad de rotación del motor de 350 rpm ya que el vehículo se moviliza a una velocidad baja. En donde en el riel se genera una presión de 410 bar. El ancho de los pulsos para cada inyector es 750 μ s.

4.2.2 Media carga

En esta prueba, las prestaciones del motor incrementan referentes al ralentí, es así que para este caso se va a realizar la simulación con una velocidad de rotación de 850 rpm en donde se van a generar los pulsos con una amplitud de 800 μ s y en el riel se genera una presión de 900 bar.

4.2.3 Carga alta

Para esta prueba, las revoluciones del motor incrementan y se generan más revoluciones en el motor ya que el vehículo circula a una elevada velocidad. Es así que en este caso se realiza la simulación con 1500 rpm donde el ancho de pulso en los inyectores es 1000 μ s. La presión incrementa cerca del límite a 1600 bar.

4.2.4 Presiones

La comprobación de la presión de salida de la bomba se realiza variando la frecuencia de los pulsos enviados a los inyectores y las rpm. Con una frecuencia de 12 Hz, a 600 rpm, se alcanza una presión de 475 bar. Incrementando la frecuencia a 20 Hz, la velocidad angular a 950 rpm, se obtiene una presión de 600 bar. Finalmente con 1500 rpm, 45 Hz, la presión incrementa a 1000 bar.

4.2.5 Fugas

Se verifica la existencia de fugas en los puntos de unión de suelda, por ejemplo, en el depósito de combustible, conductos de salida y retorno, ajustes de las tuercas de las cañerías conectadas al riel de inyectores, acople de las mangueras de entrada y salida de las bombas de combustible.

4.3 Resultados

Los resultados obtenidos al realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina de limpieza de inyectores han sido satisfactorios debido a que la presión del combustible, incrementa en función del ancho de pulso y las rpm. Además, no se presentan fugas de combustible ni fallos. A continuación, se muestran en la tabla 14 los resultados obtenidos en las pruebas.

Tabla 14 Resultados de las pruebas.

PRUEBA DE ANCHO DE PULSOS			
	RPM	PRESIÓN	ANCHO DE PULSO
Ralentí	350	410 Bar	750 μ s
Media carga	850	900 Bar	800 μ s
Carga alta	1500	1600 Bar	1000 μ s
PRUEBA DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE			
FRECUENCIA	RPM	PRESIÓN	
12 Hz	600	475	
20Hz	950	600	
45 Hz	1500	1000	
FUGAS			
		SÍ	NO
Máquina limpia inyectores			X
Máquina de simulación			X

(Correa A, 2017)

El ancho de los pulsos en los inyectores en función de las revoluciones del motor y de la presión del combustible dentro del riel, se observa en las figuras 76 y 77 en donde el tiempo de los pulsos aumenta en función del incremento de las revoluciones del motor y la presión en el riel.



Figura 76 RPM vs ancho de pulsos
(Correa A, 2017)



Figura 77 Presión en el riel vs ancho de pulso
(Correa A, 2017)

4.4 Homologación

Se han realizado pruebas experimentales en el concesionario “MAHINDRA” con la finalidad de demostrar que los equipos diseñados en el presente proyecto tienen un buen rendimiento y verificar las mejoras existentes en un vehículo en lo que se refiere a consumo de combustible, eficiencia y rendimiento de un motor diésel con un sistema de inyección common rail.

4.4.1 Ahorro de combustible

Se demostró que al realizar la limpieza de inyectores en un vehículo con sistema common rail, se obtuvo una reducción de consumo de combustible ya que antes de someterse al proceso de limpieza, en un recorrido limitado consumía 3,4 galones diariamente como promedio en una semana. Después de someterse al proceso de limpieza, el vehículo consumió diésel a una tasa de 2,9 galones diarios promedio en una semana. No se generaron efectos negativos, por esa razón es posible decir que el equipo diseñado cumple con lo que se deseaba es decir, una limpieza adecuada de inyectores y se lo puede comparar con equipos existentes en el mercado.

4.4.2 Mejora rendimiento y potencia del motor

Se minimiza el retardo de ignición, ya que los inyectores limpios pulverizan en partículas más pequeñas al combustible mejorando la combustión, facilitándose el arranque en frío, disminuyen los ruidos de golpeteo y las partículas de hollín. Finalmente, se reduce los humos de escape negros, protegen todo el sistema de alimentación contra la corrosión y se compensan la falta de lubricación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los resultados obtenidos del diseño mecánico con respecto al factor de seguridad, es superior al valor crítico o mínimo que es 1. Mediante valor obtenido en el diseño se define que la estructura va a soportar los esfuerzos aplicados sobre ella.
- En las pruebas de funcionamiento de los equipos, se notó que trabajan correctamente ya que el banco de limpieza de inyectores genera un ahorro del 15% de combustible a un vehículo que somete a los inyectores a la limpieza sin deteriorar sus componentes y sin producir efectos secundarios.
- En base a las pruebas realizadas en la máquina de limpieza de inyectores: en ralentí, carga media y alta. Se determinó las presión de 410, 900 y 1600 bares lo que permitió comprobar que al aumentar el ancho de pulso y las rpm se obtiene un incremento de presión, con lo que se puede concluir que el equipo está operando mejor de lo esperado. Sin embargo se requería que el equipo cumpliera con ciertos requisitos, uno de ellos es que inyecte combustible a través de sus cuatro inyectores diésel Bosch, lo cual no se logró ya que la presión excesiva que existe en la riel hace indispensable el uso de una válvula reguladora de presión, cuyo costo es muy elevado.
- La placa electrónica Arduino, permite una gran capacidad de comunicación y facilidad a la programación ya que trabaja con un software libre estableciendo una conexión exitosa entre las señales transmitidas con la placa de componentes electrónicos y el driver del motor.
- Los aditivos para la limpieza de inyectores de un sistema de inyección de riel común que no deterioran el estado de los componentes del sistema son los que poseen la cualidad de ser anticorrosivo, lubricante, con bajo contenido de azufre, funcionamiento por micro dispersión y disolución.

- Es importante mencionar que no se pudo realizar la prueba final del sistema didáctico completo por la falta de la válvula reguladora de presión, lo que sí se pudo comprobar es el funcionamiento de la máquina limpiadora de inyectores, ya que se pudo constatar su efectividad en pruebas realizadas en talleres externos.

Recomendaciones

- Se puede mejorar la operación del equipo instalando la válvula reguladora de presión en el sistema, y para su adquisición sería recomendable hacerlo a través de la universidad ya que es un equipo didáctico que facilitaría prácticas a estudiantes de los niveles inferiores.
- Se recomienda realizar un controlador de impulsos más preciso para el equipo, utilizando un software más avanzado que permita manejar variables y codificarlas a mayor velocidad, para obtener una mayor rapidez de respuesta en los inyectores que son actuadores que operan con impulsos enviadas de un computador.
- Se debe realizar un rediseño del equipo, en donde se utilice componentes del sistema que existan en el mercado nacional de tal forma que se pueda disminuir costos de construcción y se tenga facilidad de adquisición.

BIBLIOGRAFÍA

- Actualidad Motor. (22 de Marzo de 2012). *Sistemas para la inyección directa de diesel UIS y UPS*. Obtenido de Sistemas para la inyección directa de diesel UIS y UPS: <http://www.actualidadmotor.com/sistemas-para-la-inyeccion-directa-de-diesel-uis-y-ups/>
- Arduino. (2016). *Arduino Home*. Obtenido de Arduino Home: <https://www.arduino.cc/>
- Armas, G., & Vaca, B. (2013). “*MÓDULO DIDÁCTICO DE LA BOMBA DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN COMMON-RAIL DE LA CAMIONETA VOLKSWAGEN AMAROK 4x2*”. Ibarra.
- Barbadillo, F. (2014). *Sistema de inyección Common Rail*. Obtenido de Sistema de inyección Common Rail: <http://www.fbelectronica.com/Infosistemas/Sistemas%20Diesel/Common%20Rail.html>
- Bosch. (2015). *Sistemas Modernos de Inyección a Diesel*. Obtenido de Sistemas Modernos de Inyección a Diesel : [http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Documents/Cat%20Diesel%202015%20OK_Final\(%20Anexos%20Catalogo\)Parte2.pdf](http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Documents/Cat%20Diesel%202015%20OK_Final(%20Anexos%20Catalogo)Parte2.pdf)
- Bosch. (2016). *Piezas de automóviles Bosch*. Obtenido de Piezas de automóviles Bosch: http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories/motor_and_sysems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts.html
- Bosch. (2016). *Sistemas de inyección diesel convencionales*. Obtenido de Sistemas de inyección diesel convencionales: http://www.bosch.com.ve/autopartes/productos/sistemas_diesel/inyeccion_diesel.htm
- Bosch. (2016). *UPS (Sistema de Bomba Unitaria)*. Obtenido de UPS (Sistema de Bomba Unitaria): http://br.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sysems/diesel/ups_sistema_de_bomba_unitaria/ups_istema_de_bomba_unitaria_1.html
- Chevrolet. (2016). *Chevrolet LUV D max*. Obtenido de <http://www.chevrolet.com.ec/dmax-camioneta-de-trabajo.html>

- Chevrolet. (2016). *LUV-Dmax*.
- CISE . (2011). *Sistema de inyección diesel*. Obtenido de Sistema de inyección diesel:
<http://www.cise.com/portal/buscar.html?searchword=deposito&ordering=&searchphrase=all>
- Cobo, G. (2013). *Análisis de averías en el sistema CRDI*. Cuenca.
- Coral, F. (2013). “*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES DE VEHÍCULO DIESEL CRDI PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*”. Riobamba.
- Coruña Diesel. (2016). *Filtro Diesel Common Rail*. Obtenido de Filtro Diesel Common Rail: <http://www.corunadiesel.com/listado.aspx?IdCon=uS/b0/hicU=&IdPortal=hbCKp8o/Sys=&IdIdioma=1&IdNoticia=750>
- DELPHI. (2007). *Manual del common rail*. Obtenido de Manual del common rail:
<http://automotrizenvideo.com/wp-content/sp-resources/forum-file-uploads/lisandro/2014/10/MANUAL-COMMON-RAIL-delphi.pdf>
- DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. (01 de 01 de 2005). *WORD REFERENCE*. Obtenido de <http://www.wordreference.com/definicion/gr%C3%BAa>
- DIRECT INDUSTRY. (01 de 01 de 2015). *DIRECT INDUSTRY*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/palfinger/product-17586-677283.html>
- directindustry.es. (s.f.). *Direct Indutry*. Obtenido de http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/manometro-61046-_2.html
- Ford. (2016). *Ford F150*. Obtenido de Ford F150: <http://www.ford.cl/pickups/allnew-f150>
- GMVYKON. (01 de 01 de 2013). *GMVYKON*. Obtenido de <http://www.gmvykon.com/>
- GRUASTOOSKA. (01 de 01 de 2014). *GRUASTOOSKA*. Obtenido de http://www.gruastooska.com/blog.php?ID_Categoria=2
- Hidro-Grubert. (2016). *BL 13C / CESTA AÉREA ARTICULADA HIDRO-GRUBERT*. Obtenido de BL 13C | CESTA AÉREA ARTICULADA HIDRO-GRUBERT:
<http://www.hidrogrubert.com/productos/cesta-aerea-articulada-liviana-hidrogrubert-bl13c.php>
- Hyundai. (2014). *Hyundai diesel engine J3*.
- IKONET. (01 de 01 de 2015). *IKONET*. Obtenido de

<http://www.ikonet.com/es/diccionariovisual/transporte-y-vehiculos/manipulacion/gruas/grua-torre.php>

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION. (s.f.). CODIGO DE PRACTICA. SEGURIDAD EN EL USOO DE GRUAS. En INEN, *CPE INEN 010* (pág. 11). QUITO: INEN.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010). *Grúas hidráulicas articuladas sobre camión*. Obtenido de Grúas hidráulicas articuladas sobre camió:

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/856a890/868w.pdf>

Izusu. (2016). *Izusu Dmax*. Obtenido de Izusu Dmax: http://54.169.180.5/isuzu.net.my/public_html/dmax-singlecab4x2.php

Jiménez, J. (2012). *BOMBA DE TRANSFERENCIA COMMON RAIL*. Obtenido de BOMBA DE TRANSFERENCIA COMMON RAIL: <http://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/94-bomba-de-transferencia-common-rail/94-bomba-de-transferencia-common-rail>

Liqui Moly. (2016). *Aditivos para Combustible*. Obtenido de DIESEL SYSTEMPFLEGE: <http://www.liquimoly.com.uy/diesel-systempflege-19.html>

Luigimixx. (17 de 04 de 2013). *kugaexperience.com*. Obtenido de <http://www.kugaexperience.com/dosier-el-common-rail/>

MANITOWOC. (01 de 01 de 2015). *MANITOWOCCRANES*. Obtenido de <http://www.manitowocranes.com/es-ES/cranes/grove/grove-products/truck-mounted>

Márquez, T. (2012). *Tipos de bomba rotativa*. Obtenido de Tipos de bomba rotativa: <http://es.slideshare.net/DETOMA/tipos-de-bomba-rotativa>

MATILSA. (01 de 05 de 2016). *MATILSA*. Obtenido de MATILSA: <http://www.matilsa.es/index.htm>

Mazda. (2016). *Mazda BT-50*. Obtenido de Mazda BT-50: <http://www.mazda.com.ec/vehiculo/mazda-bt50/#vehicle-hero-section>

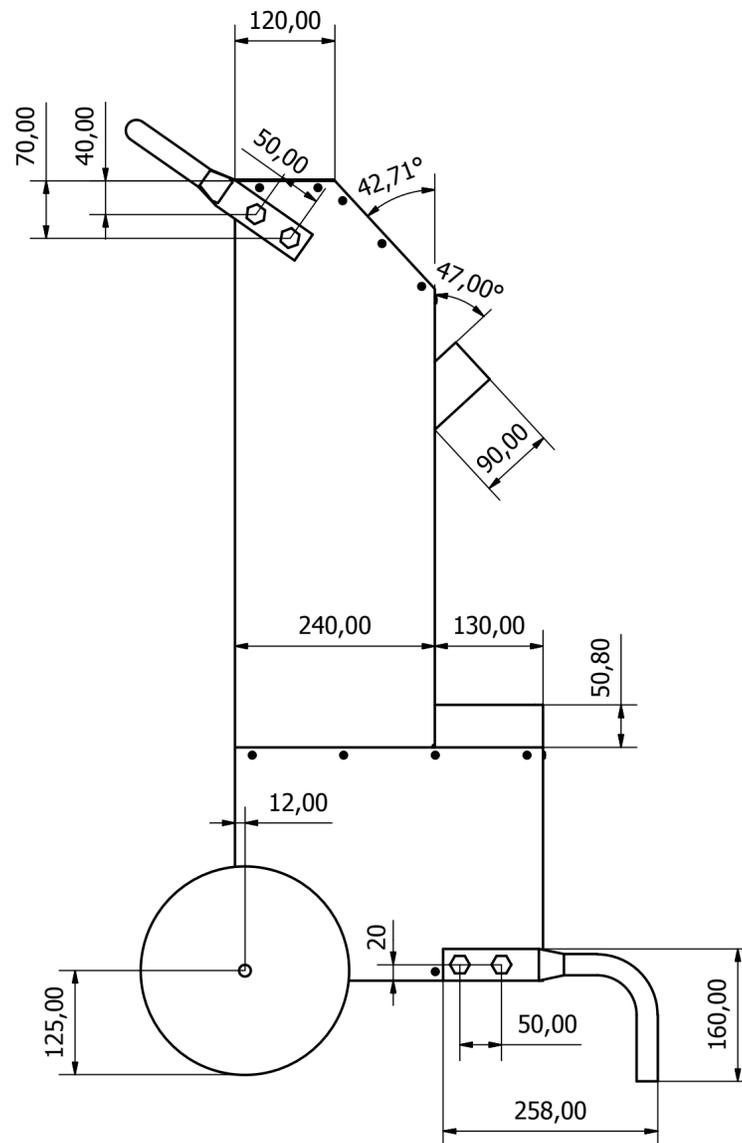
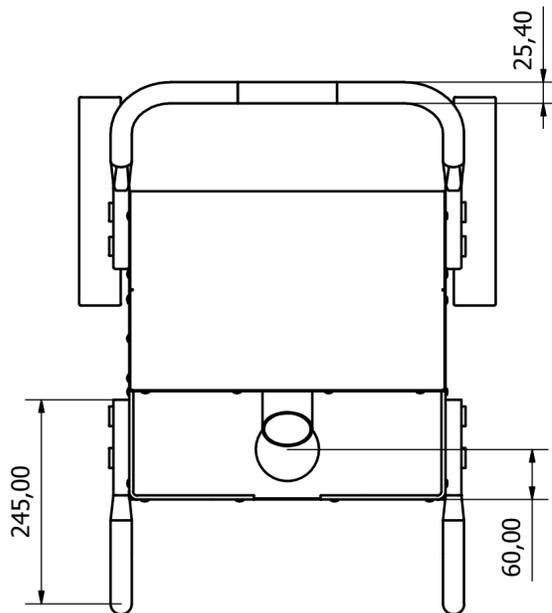
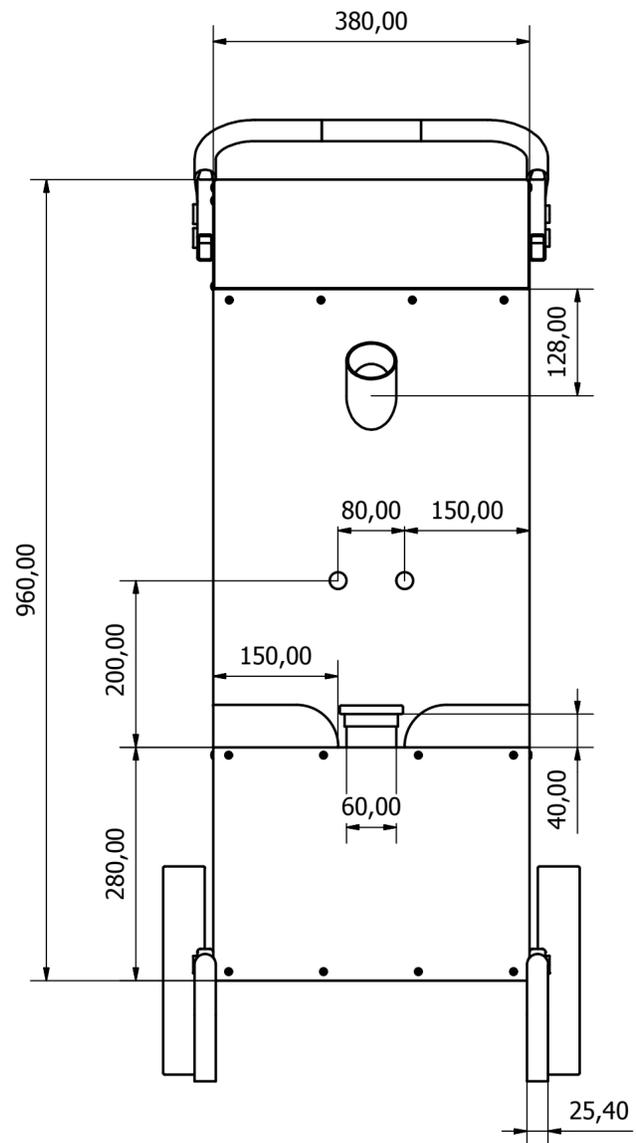
Microchip. (2012). *PIC18F2420/2520/4420/4520*. Obtenido de PIC18F2420/2520/4420/4520: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39631E.pdf>

Mº, A. L. (2010). Manejo de cargas. Riesgos y medidas preventivas. 2º edición. En A.

- L. M^o, *Manejo de cargas. Riesgos y medidas preventivas. 2^o edición* (págs. 157-161, 169.170). Madrid, España: FUNDACION CONFEMETAL.
- Padilla, C. (2013). *Common Rail Inyectores*. Obtenido de Common Rail Inyectores: <http://www.slideshare.net/celinpadilla/common-rail-inyectores>
- PALFINGER. (01 de 05 de 2016). *BAGANT*. Obtenido de BAGANT: http://www.bagant.com/303_gruas-palfinger-sobre-camion/
- Parreño, S. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor ciclo diésel*. Málaga: Innovación y Cualificación.
- Socage. (2016). *Plataforma elevadora A314 forSte sobre Isuzu*. Obtenido de Plataforma elevadora A314 forSte sobre Isuzu: <http://www.socage.es/Productos/plataforma-elevadoras-4x4-isuzu.html>
- Tehiba. (2016). *GRÚA TAT-13*. Obtenido de GRÚA TAT-13: <http://www.tehiba.com/>
- tiposde.org. (01 de 01 de 2012). *Tiposde.org*. Obtenido de <http://www.tiposde.org/construccion/616-tipos-de-gruas/>
- Vallejos, E. (2015). *Mecánica Automotriz: Motores a Explosión y Motores Diesel*. Lima.

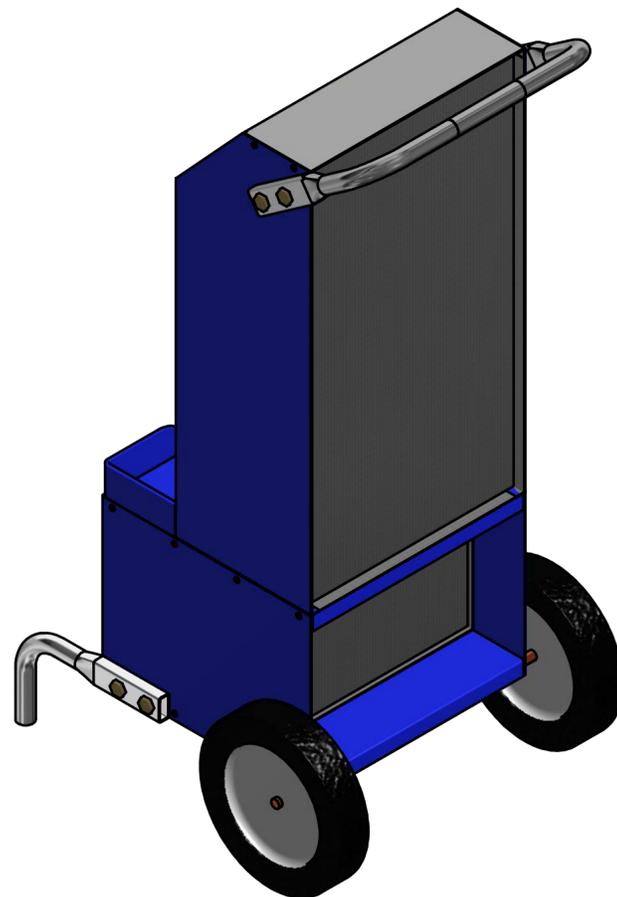
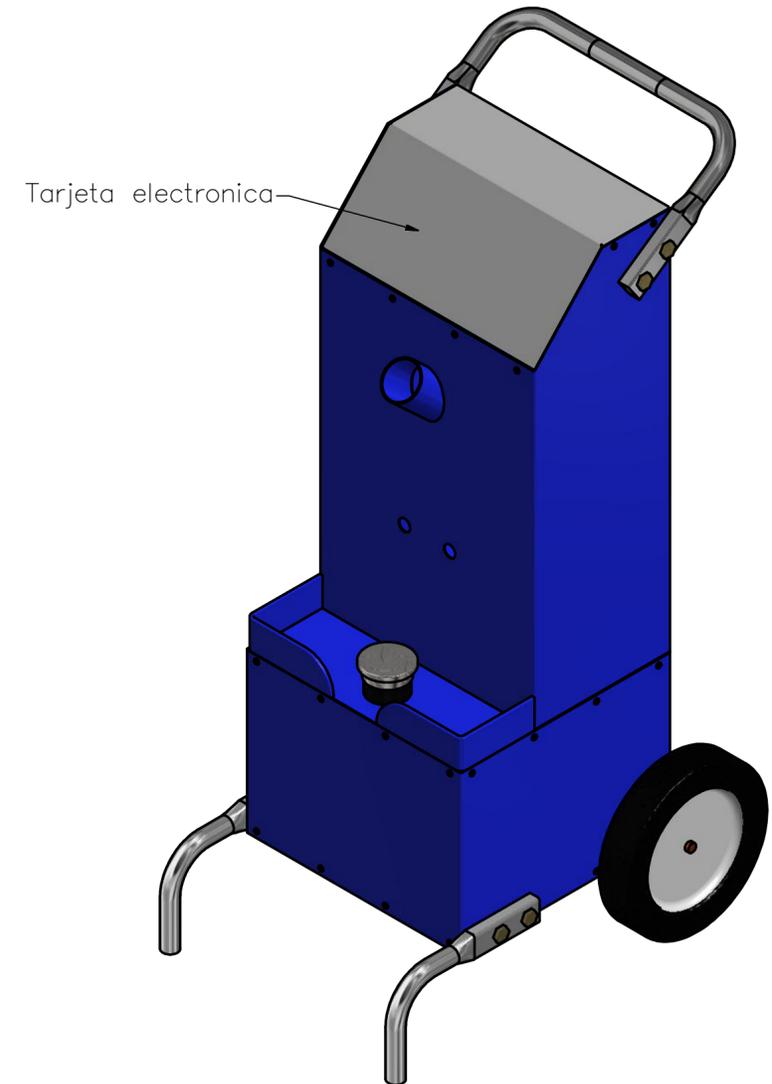
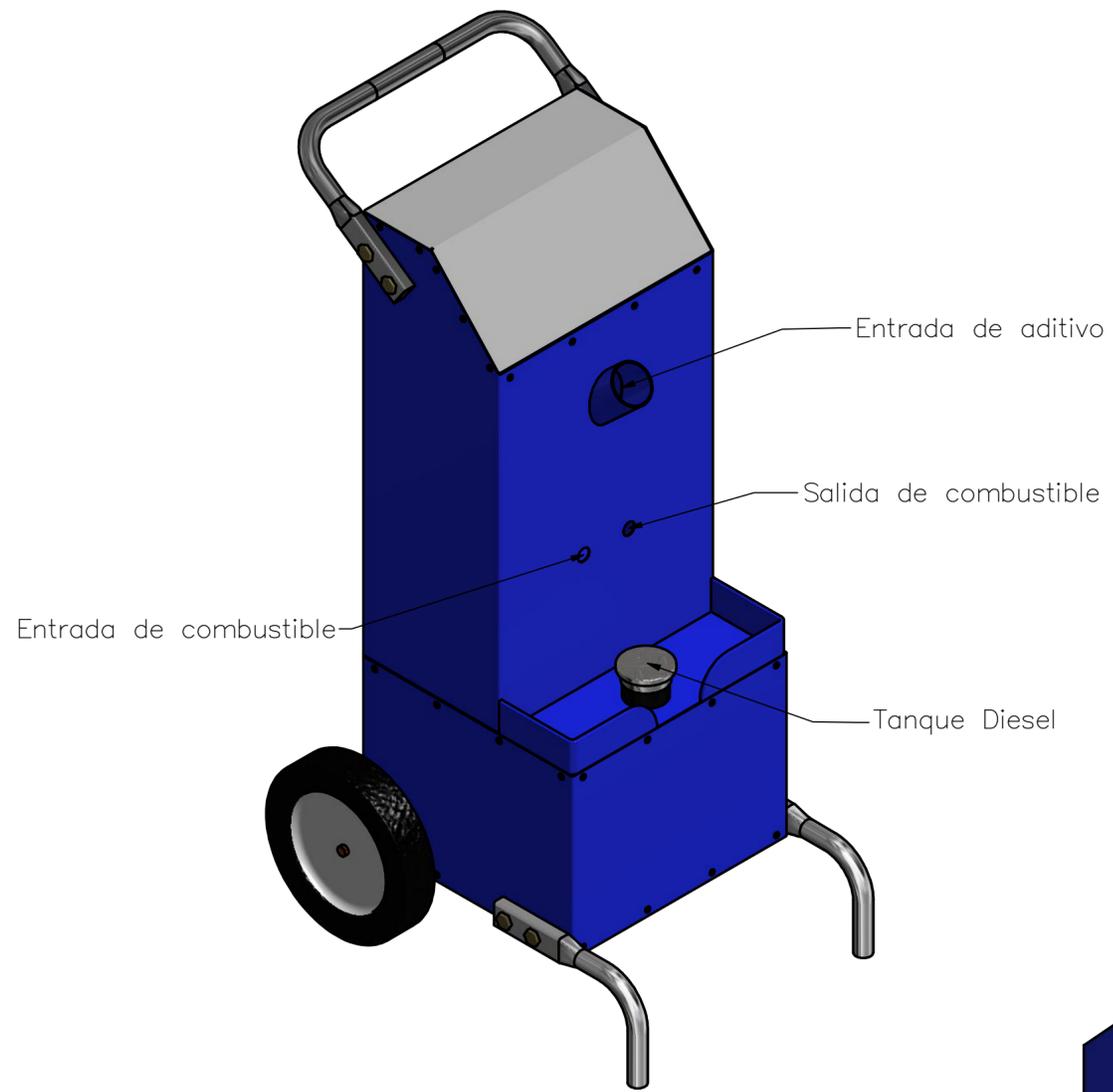
Anexo 2
Propiedades mecánicas del acero A36

CORRELACION DE LAS NMX Y ASTM DE ACEROS ESTRUCTURALES					
Nomenclatura		F _y ^m		F _u ^m	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
B-254	A 36	250	2,530	400 a 550	4,080 a 5,620
	A 529	345	3,515	485	4,950
		380	3,880	485	4,950
B-282	A 242	320	3,235	460	4,710
		345	3,515	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
B-284	A 572	345	3,515	450	4,570
		414	4,220	515	5,270
		450	4,570	550	5,620
	A 992	345	3,515	450 a 620	4,570 a 6,330
B-177	A 53	240	2,460	414	4,220
B-199	A 500 (5)	320	3,235	430	4,360
B-200	A 501	250	2,530	400	4,080
	A 588 (6)	345	3,515	483	4,920
	A 709	250	2,550	400	4,080
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040
	A 913 (7)	345 a 483	3,515 a 4,920	448 a 620	4,570 a 6,330

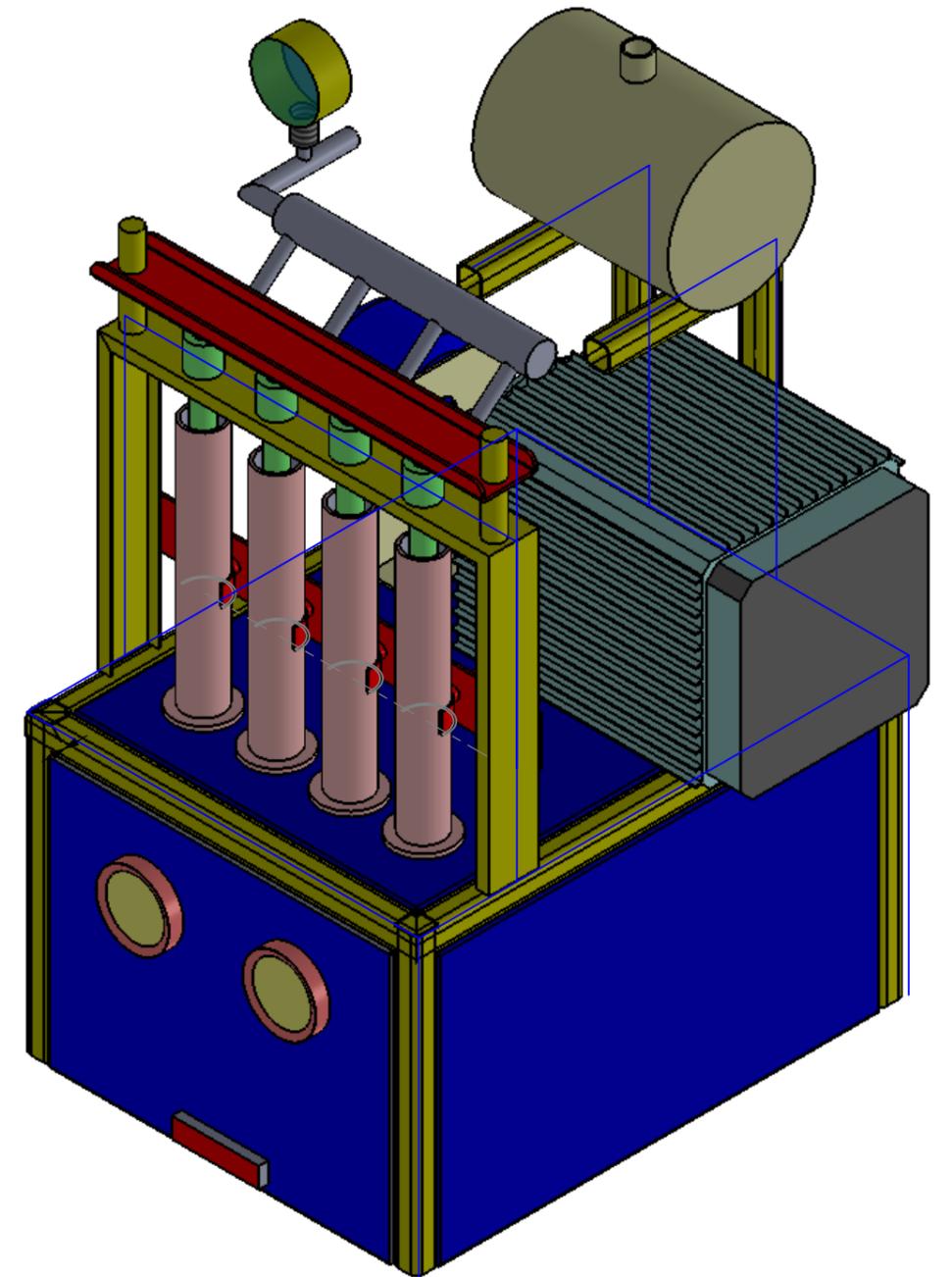
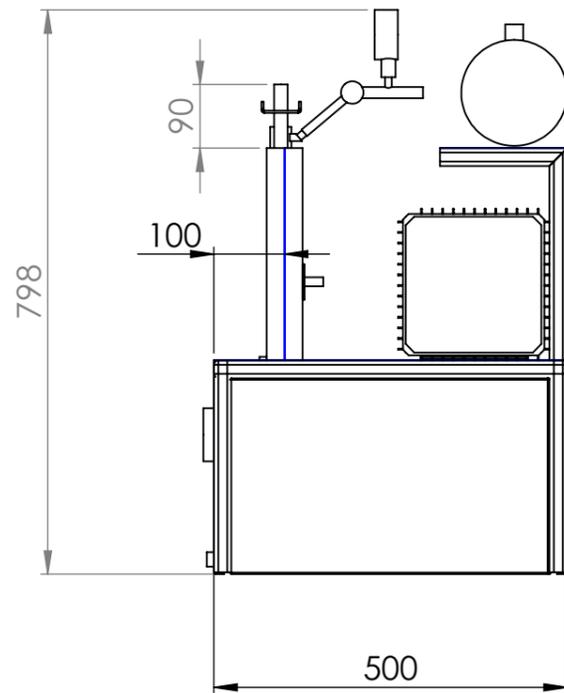
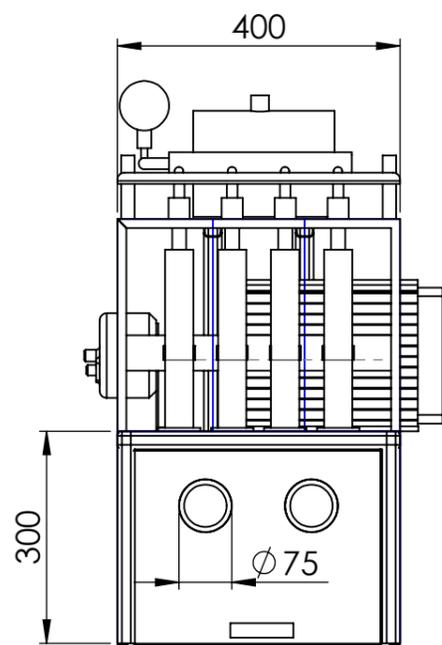
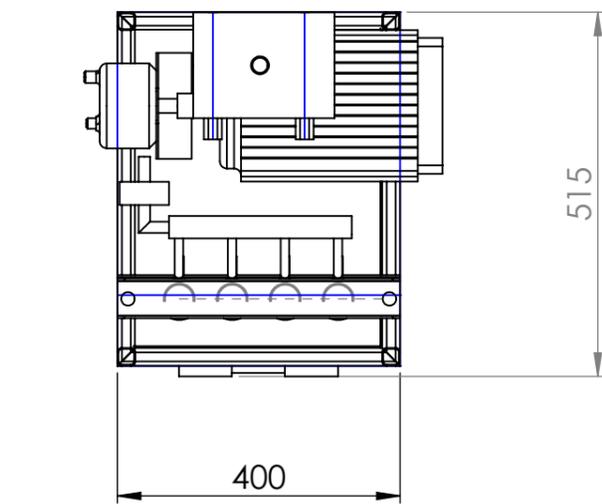


POS.	CANT.	DENOMINACION	NORMA	MATERIAL	NOTAS
Escala: 1:6		Fecha:	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA		
MAQUINA LIMPIEZA DE INYECTORES DIESEL					
Dibujo: Amadita Correa			Anexo:		
Especialidad: I.M.A			Nº		

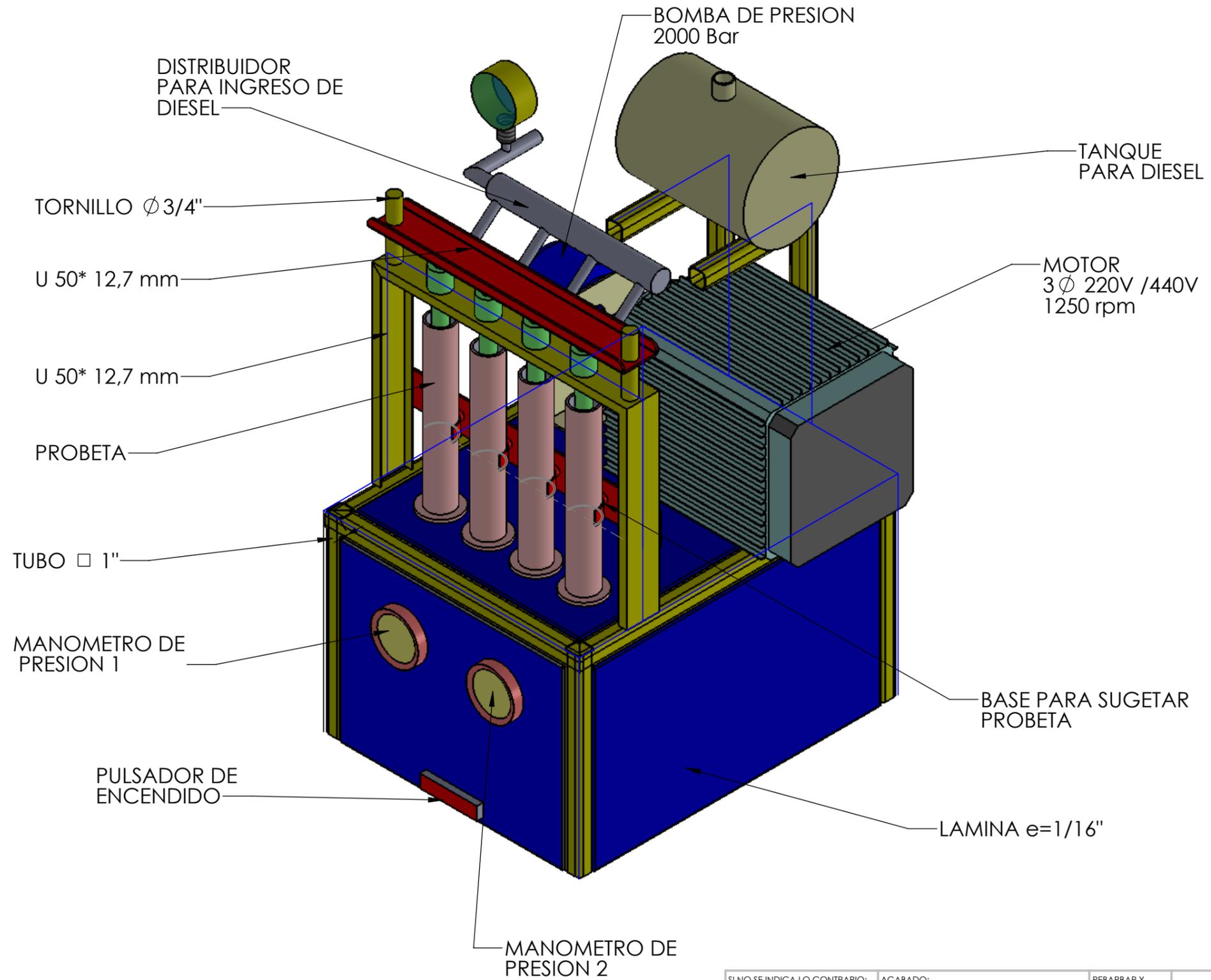
ISOMETRICO MAQUINA



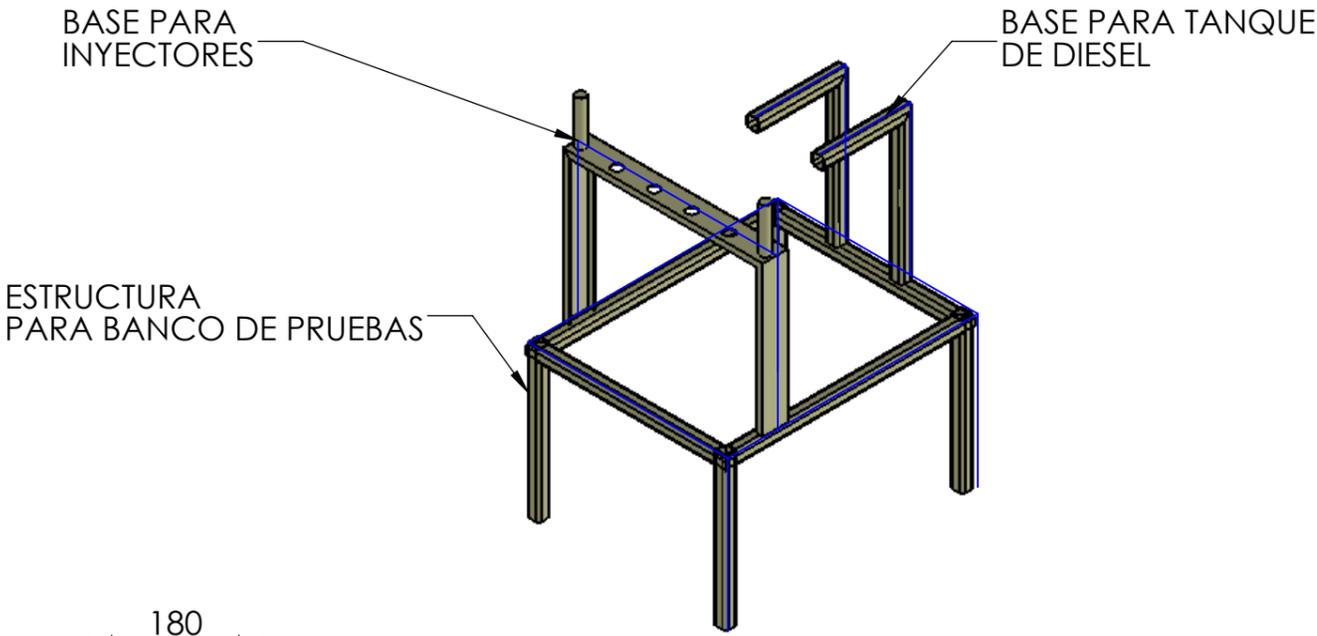
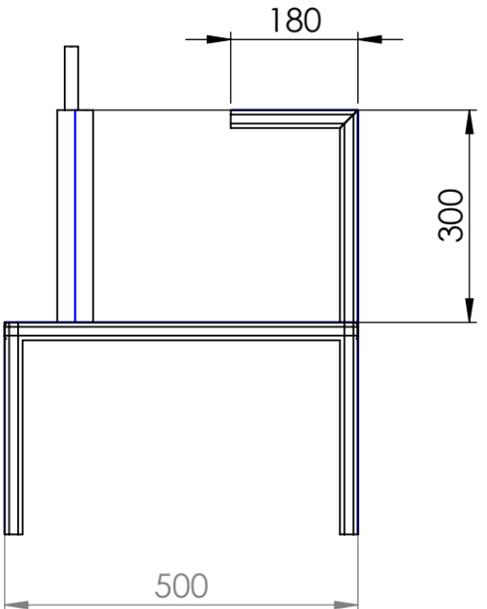
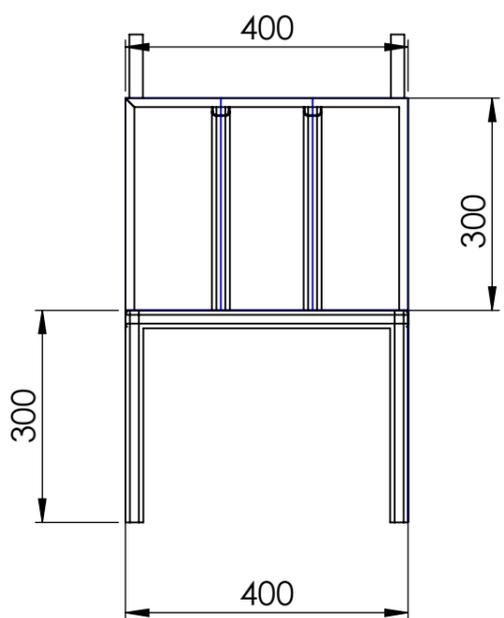
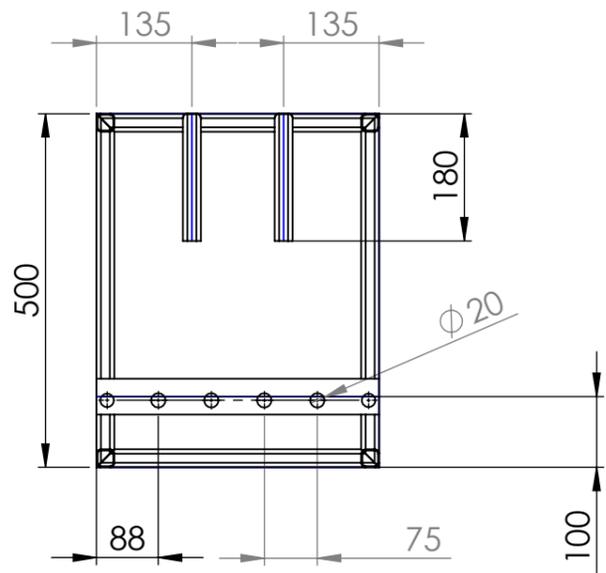
POS.	CANT.	DENOMINACION	NORMA	MATERIAL	NOTAS
Escala: 1:6		Fecha:	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA		
MAQUINA LIMPIEZA DE INYECTORES DIESEL					
			Especialidad: I.M.A	Nº	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	AMADITA CORREA	FIRMA	FECHA		TÍTULO: BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTORES	
VERIF.	FERNANDO MUÑOZ				N.º DE DIBUJO 1 - 1	A3
APROB.				MATERIAL: ACERO ASTM A36	ESCALA: 1:10	HOJA 2 DE 1
FABR.				PESO:		
CALID.						



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							TÍTULO: BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTORES				
DIBUJ. AMADITA CORREA			FIRMA		FECHA				N.º DE DIBUJO 0 - 1		A3
VERIF. FERNANDO MUÑOZ									MATERIAL: ASTM A36		
APROB.									PESO APROX: 68 kg		ESCALA: 1:10
FABR.											HOJA 1 DE 1
CALID.											



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							TÍTULO: BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTORES				
DIBUJ. AMADITA CORREA			FIRMA		FECHA				N.º DE DIBUJO 2 - 1		
VERIF. FERNANDO MUÑOZ							MATERIAL: ASTM A36		A3		
APROB.							PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1
FABR.											
CALID.											