



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS  
SEMIAUTOMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE FALLAS DE  
INYECTORES EN AUTOS A GASOLINA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros en Mecatrónica

**AUTORES: ENRIQUE ALEXANDER GUAMÁN LOGRO**  
**EDISON DAVID PASTUÑA PASTUÑA**

**TUTOR: FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA**

Quito - Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Enrique Alexander Guamán Logro, con documento N° 1727385740 y Edison David Pastuña Pastuña con documento N° 0503773103, manifiesto que:

Somos, autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Enrique Alexander Guamán Logro  
1727385740



---

Edison David Pastuña Pastuña  
0503773103

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Enrique Alexander Guamán Logro con documento de identificación No: 1727385740, y Edison David Pastuña Pastuña con documento de identificación No: 0503773103, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores para el desarrollo de un Dispositivo tecnológico: “Diseño y construcción de un banco de pruebas semiautomático para la determinación de fallas de inyectores en autos a gasolina”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del año 2024



---

Enrique Alexander Guamán logro  
1727385740



---

Edison David Pastuña Pastuña  
0503773103

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera, con documento de identificación N°: 1707982169, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES PARA DETERMINAR FALLAS EN AUTOS A GASOLINA, realizado por Enrique Alexander Guamán Logro, con documento de identificación N°: 1727385740, y Edison David Pastuña Pastuña con documento de identificación N°: 0503773103 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, MSc.

1707982169

## DEDICATORIA

A Dios por darme salud, sabiduría y fortaleza todos los días, es el que me brinda las fuerzas para seguir adelante y contribuir en esta sociedad como ciudadano y ser humano responsable y respetuoso ante todos.

Mi tesis se la dedico con amor a mis padres Luis Guamán y María Logro por todo el esfuerzo y sacrificio que desde niño me inculcaron para ser una persona de bien, brindarme el estudio, su confianza y sobre todo el camino de Dios que marco mi vida, los resultados son reflejados en mí, que día a día trato de ser mejor ser humano, persona y buen ciudadano para este país.

A mi abuelita que siempre está orando por mi desde muy lejos, desde pequeño siempre fui muy apegado a ti, gracias por los buenos consejos, por los versículos enseñados, por los sermones, gracias a eso soy mejor persona con la finalidad de mejorar cada día para que te sientas orgulloso de mí

A mi familia que siempre me apoyaron a lo largo de vida con consejos y cuidado desde pequeño al enseñarme que la familia siempre es unida y se sale adelante sin importar las circunstancias que se presentan en la vida.

A mis pocos amigos que estuvieron presentes desde el colegio y siguen dándome palabras de aliento para seguir adelante, quienes estuvieron presentes en mis momentos más inolvidables, agradezco a cada uno de ustedes y por formar una amistad larga y duradera.

*Enrique Alexander Guamán Logro*

## DEDICATORIA

Dedico principalmente a Dios por proveerme vida y sabiduría para cumplir una meta más en mi vida. A mi madre Martha Pastuña que está en cielo por ser mi principal motor de mis sueños, y a mi padre Manuel Pastuña quien fue padre y madre, mi pilar fundamental con su apoyo incondicional por siempre brindarme consejo a lo largo de mi vida como estudiante enseñándome valores para ser un buen ser humano. Sus sacrificios y alientos me han permitido alcanzar mi meta y sueño. Estoy eternamente agradecido por su presencia en mi vida.

A mis hermanos/a, cómplices de risas y lágrimas, gracias por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles y por compartir esta alegría de culminar este proyecto

A mis familias y amigos, quienes me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía imposible, para que este trabajo se realizara de una manera exitosa.

*Edison David Pastuña Pastuña*

## **AGRADECIMIENTOS**

Dar gracias a Dios principalmente por la vida que me otorga cada día, permitiendo compartir con mis familiares, amigos, maestros, por brindarme una vida muy grata con mi familia que son el pilar de mi vida, por darme fuerzas para lograr mis objetivos propuestos y seguir a delante.

Como no agradecer a mis padres que día a día se esfuerzan para darme el mejor estudio, la mejor comida, los mejores consejos, quienes con su enseñanza me hacen mejor persona, gracias por el apoyo que siempre me han brindado desde muy pequeño y enseñarme que siempre en la vida hay que ser fuerte a pesar de todo,

Agradezco a mis maestros presentes en mi formación académica, quienes compartieron sus conocimientos, enseñanzas, trabajos e investigaciones conmigo para darme las pautas para ser un profesional en el país, a la vez que doy gracias a la Universidad por acogerme en un ambiente de buen ciudadano, compañerismo y sobre todo un mejor ser humano.

Agradezco a mi familia y amigos por los consejos y el apoyo otorgado, que siempre están pendientes de mí y nunca me dejan solo, gracias por el respeto que me brindan y son leales conmigo.

*Enrique Alexander Guamán Logro*

## **AGRADECIMIENTOS**

Cómo no agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana y de manera especial a la dirección de carrera Mecatrónica. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de Tesis, Ingeniero Fabio Obando, por su guía, apoyo y paciencia durante todo el proceso de esta investigación. Sus consejos y comentarios fueron invaluable para el desarrollo de este trabajo se finalice con éxito.

También quiero agradecer a mis profesores y lectores, quienes me brindaron su conocimiento y experiencia, ayudándome en los desarrollos de investigación y, además, crecer como profesional durante la trayectoria de la carrera.

Agradezco a mis amigo/as, compañeros del curso y familiares, quienes siempre estuvieron ahí para mí, ofreciéndome sus consejos apoyo moral y emocional. Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo y formar un profesional.

*Edison David Pastuña Pastuña*



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTOS .....	VII
AGRADECIMIENTOS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
Planteamiento del Problema.....	XX
Justificación.....	XXI
Objetivos.....	XXII
Objetivo General .....	XXII
Objetivos Específicos.....	XXII
Capítulo I.....	1
Conceptos fundamentales.....	1
1.1 Vehículos a gasolina. ....	1
1.2 Vehículos a combustible en Ecuador. ....	1
1.3 Funcionamiento de combustible en autos. ....	1
1.4 Parámetros correctos de los inyectores. ....	3
1.4.1 Flujo de combustible.....	3
1.4.2 Patrón de pulverización. ....	3
1.4.3 Presión de operación.....	3
1.4.4 Estanqueidad.....	3

1.4.5	Funcionamiento eléctrico.....	3
1.5	Descripción de banco de pruebas.....	4
1.6	Inyector a gasolina. ....	4
1.7	Impureza de los inyectores.....	5
1.7.1	Limpieza con aditivos.....	5
1.7.2	Limpieza por cepillado. ....	5
1.7.3	Limpieza por ultrasónico. ....	5
1.8	Funcionamiento de un inyector de gasolina.....	6
1.8.1	Recepción de la señal.....	7
1.8.2	Apertura y cierre de la válvula.....	7
1.8.3	Pulverización de combustible. ....	7
1.8.4	Cierre de la válvula. ....	7
1.9	Modulación de ancho de pulsos y ciclo de vida útil. ....	7
1.9.1	El ciclo de vida de un banco de pruebas de inyectores ....	7
1.9.2	Ancho de Pulso .....	8
1.9.3	Generador de pulso para inyectores.....	9
1.9.4	Tipos de circuito controladores inyectores. ....	10
1.9.5	Circuito de control voltaje y corriente. ....	10
1.9.6	Curva característica de flujo de inyector. ....	11
1.9.7	Mantenimientos. ....	12
Capítulo II	.....	13
2.	Estudio de Análisis de alternativas. ....	13
2.1	GT-600-PRO de la marca GLOBALTECH.....	13
2.2	Limpiador y comprobador marca AUTOOL. ....	14

2.3	Banco de pruebas de inyectores marca GDI. ....	15
2.4	Banco de pruebas de 6 inyectores ENC602a. ....	16
2.5	Análisis para el banco de pruebas mediante las alternativas presentes.....	17
2.5.1	Material probetas a utilizar. ....	18
2.5.2	Material de la estructura. ....	18
CAPÍTULO III .....		19
3.	Análisis de diseño. ....	19
3.1.1	Estructura de diseño mecánico. ....	19
3.1.2	Diseño de la estructura principal del banco de pruebas.....	19
3.1.3	Selección de material.....	20
3.1.4	Análisis estructural .....	22
3.1.5	Cálculo de fuerzas y momentos.....	23
3.1.6	Cálculo de factor de seguridad de la estructura de tubo de la mesa .....	24
3.1.7	Diseño de mesa del banco de pruebas .....	25
3.1.8	Análisis Estructural de la mesa del banco de pruebas .....	26
3.1.9	Cálculo de reacción.....	26
3.2	Cálculo de momento máximo .....	26
3.3	Cálculo de fuerza y momento mediante MDSolid.....	26
3.3.1	Simulación análisis estructural mediante SolidWorks. ....	27
3.4	Diseño de riel de inyector .....	29
3.4.1	Selección de material de riel.....	29
3.4.2	Diseño del riel de los inyectores en SolidWorks. ....	30
3.4.3	Análisis mecánico de fluidos del riel.....	31
3.4.4	Selección de bomba .....	31

3.4.5	Cálculo de fuerza ejercida del combustible .....	31
3.4.6	Cálculo del área total riel de inyectores.....	32
3.4.7	Selección de componentes mecánicos mediante catalogo.....	32
3.4.8	Manguera de presión.....	33
3.4.9	Nanómetro de presión.....	33
3.5	Probetas .....	34
3.6	Diseño de los sistemas del banco de pruebas.....	34
3.7	Diseño eléctrico.....	35
3.7.1	Cálculos de ciclo de trabajo.....	36
3.7.2	Cálculo de los componentes del módulo de ancho de pulso .....	37
3.7.3	Variación de ciclo de trabajo mediante osciloscopios.....	42
3.8	Complementos para implementar .....	44
3.8.1	Puente H.....	45
3.8.2	Sensor Ultrasónico.....	45
3.8.3	Modulo LCD.....	46
3.8.4	Encendido y Apagado.....	46
3.8.5	Unidad de control .....	46
3.9	Diagrama de conexión del sensor ultrasónico.....	46
3.9.1	Diagrama Puente H.....	47
3.9.2	Diseño completo del banco de pruebas .....	48
3.9.3	Diagrama de flujo del banco de pruebas.....	49
Capítulo IV	.....	51
4.	Análisis y resultados .....	51
4.1	Etapas de construcción del banco de pruebas.....	51

4.2	Inicio de pruebas ciclo de trabajo bajo.....	52
4.3	Inicio de prueba ciclo de trabajo medio y alto .....	53
4.4	Manuales de operación del banco de pruebas. ....	55
4.4.1	Propósito del manual. ....	55
4.4.2	Especificaciones Técnicas. ....	55
4.4.3	Requisitos de instalación. ....	56
4.4.4	Seguridad durante uso del dispositivo tecnológico. ....	57
4.4.5	Guía de componentes.....	58
4.4.6	Panel de mando.....	58
4.4.7	Encendido del equipo. ....	59
4.4.8	Apagado del dispositivo electrónico.....	60
4.5	Mantenimiento de la maquina.....	60
4.5.1	Mantenimiento preventivo.....	60
4.5.2	Mantenimiento correctivo.....	61
4.6	Análisis costos construcción del dispositivo electrónico.....	62
4.6.1	Análisis económico del dispositivo electrónico. ....	62
4.6.2	Construcción del equipo. ....	62
4.6.3	Construcción eléctrica y de control .....	62
4.7	Mano de obra .....	63
4.8	Costo total de la construcción del banco de pruebas .....	63
4.9	Análisis Económico de dispositivo tecnológico .....	64
	CONCLUSIONES .....	65
	RECOMENDACIONES .....	66
	REFERENCIAS .....	67

ANEXOS.....	71
<b>Anexo 1</b> Etapas de construcción del banco de pruebas. ....	71
<b>Anexo 2</b> Corte del trazo realizado.....	71
<b>Anexo 3</b> Proceso de soldadura del banco.....	71
<b>Anexo 4</b> Ensamble completo con los componentes mecánicos y electrónicos.....	72
<b>Anexo 5</b> Ensamble final del probador de inyectores .....	73
<b>Anexo 6</b> Pruebas de funcionamiento con refrigerante rojo.....	73
<b>Anexo 7</b> Planos de la estructura.....	74
<b>Anexo 8</b> Dimensiones de banco de prueba .....	74
<b>Anexo 9</b> Estructura de la mesa.....	74
<b>Anexo 10</b> Estructura de perfiles laterales .....	75
<b>Anexo 11</b> Riel de inyectores, diseño Solid. ....	75
<b>Anexo 12</b> Estructura de banco de pruebas .....	76
<b>Anexo 13</b> Código implementado de arduino para la programación del banco de pruebas .....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características técnicas del banco de pruebas GT-600-PRO. ....	14
<b>Tabla 2.</b> Características de diseño mecánico. ....	14
<b>Tabla 3.</b> Características técnicas banco de prueba de inyectores 4 probetas AUTOOL. ...	15
<b>Tabla 4.</b> Características de diseño mecánico. ....	15
<b>Tabla 5.</b> Características técnicas de limpieza de inyectores de combustible GDI.....	16
<b>Tabla 6.</b> Características de diseño mecánico .....	16
<b>Tabla 7.</b> Características técnicas de Banco de prueba de inyectores 6 probetas ENC602a.	17
<b>Tabla 8.</b> Características de diseño mecánico. ....	17
<b>Tabla 9.</b> Características de bomba de combustible.....	31
<b>Tabla 10.</b> Características de manguera. ....	33
<b>Tabla 11.</b> Características de manómetro.....	34
<b>Tabla 12.</b> Características de probetas. ....	34
<b>Tabla 13.</b> Características técnicas del banco de pruebas .....	56
<b>Tabla 14.</b> Componentes existentes en el banco. ....	58
<b>Tabla 15.</b> Lista económica de infraestructura. ....	62
<b>Tabla 16.</b> Lista económica de infraestructura. ....	63
<b>Tabla 17.</b> Lista económica de mano de obra .....	63
<b>Tabla 18.</b> Costo total del banco de pruebas .....	64
<b>Tabla 19.</b> Formula de VAN y TIR.....	64
<b>Tabla 20.</b> Análisis económico.....	64
<b>Tabla 21.</b> Resultado de valor total VAN y TIR .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Funcionamiento de combustible. [3].....	2
<b>Figura 2.</b> Inyector a gasolina [6] .....	5
<b>Figura 3.</b> Circuito de inyección electrónica [9].....	6
<b>Figura 4.</b> Modulación de ciclo de trabajo [10] .....	8
<b>Figura 5.</b> Señal PWM variación ciclo de trabajo [10].....	9
<b>Figura 6.</b> Circuito generador de pulsos [11].....	10
<b>Figura 7.</b> Circuito controlado para inyectores [13]. .....	11
<b>Figura 8.</b> Curva flujo de inyector [14].....	12
<b>Figura 9.</b> GT-600-PRO [16]. .....	13
<b>Figura 10.</b> Banco de pruebas 4 probetas AUTOOL [17] .....	15
<b>Figura 11.</b> Banco de pruebas 4 probetas GDI [18] .....	16
<b>Figura 12.</b> Banco de pruebas 6 probetas ENC602a [19]. .....	17
<b>Figura 13.</b> Ensamble completo del banco de pruebas. ....	19
<b>Figura 14.</b> Base principal del banco de pruebas. ....	20
<b>Figura 15.</b> Límites para la selección de material Edupack. ....	20
<b>Figura 16.</b> Características de material en Edupack. ....	21
<b>Figura 17.</b> Características de material en Edupack. ....	21
<b>Figura 18.</b> Simulación de deformación en SolidWorks.....	22
<b>Figura 19.</b> Simulación de factor de seguridad en SolidWorks. ....	23
<b>Figura 20.</b> Cálculo de momento máximo. ....	24
<b>Figura 21.</b> Selección tubo cuadrado para mesa mediante DIPAC [20].....	25
<b>Figura 22.</b> Tubo estructural y mesa del banco.....	25
<b>Figura 23.</b> Cálculo de fuerza y momentos.....	27
<b>Figura 24.</b> Deformación mediante SolidWorks.....	28
<b>Figura 25.</b> Factor de seguridad mediante SolidWorks. ....	28
<b>Figura 26.</b> Selección material EduPAck.....	29
<b>Figura 27.</b> Características del material EduPAck.....	30
<b>Figura 28.</b> Selección material EduPAck.....	30
<b>Figura 29.</b> Bomba eléctrica de combustible [21].....	31
<b>Figura 30.</b> Regulador de presión [22].....	33
<b>Figura 31.</b> Manguera de Presión [23].....	33
<b>Figura 32.</b> Manómetro de presión [24].....	34



<b>Figura 33.</b> Diagrama de bloque de banco de pruebas.....	35
<b>Figura 34.</b> Arduino Mega puertos ANALOG/DIGITAL [25]. .....	35
<b>Figura 35.</b> PWM ciclo de trabajo [27] .....	36
<b>Figura 36.</b> Diagrama eléctrico del circuito integrado 555 en modo estable.....	37
<b>Figura 37.</b> Diagrama eléctrico con los valores obtenidos.....	41
<b>Figura 38.</b> [Módulo de ancho de pulso con transistor y osciloscopio].....	42
<b>Figura 39.</b> Compartición de la señal cuadrática al 50% .....	43
<b>Figura 40.</b> Compartición de la señal cuadrática de los inyectores con el potenciómetro...	43
<b>Figura 41.</b> Compartición de la señal cuadrática de los inyectores con el potenciómetro al máximo.....	44
<b>Figura 42.</b> Componte puente H [30].....	45
<b>Figura 43.</b> Sensor ultrasónico [31]. .....	45
<b>Figura 44.</b> LCD de arduino [32]......	46
<b>Figura 45.</b> [Diagrama conexión de sensor ultrasónico].....	47
<b>Figura 46.</b> Diagrama de alimentación puente H.....	47
<b>Figura 47.</b> Diagrama Completo del banco de pruebas. ....	48
<b>Figura 48.</b> Diagrama de flujo del banco de pruebas.....	50
<b>Figura 49.</b> Proceso de ensamble de banco de pruebas.....	51
<b>Figura 50.</b> Estructura completa del banco de pruebas.....	51
<b>Figura 51.</b> Conexión de los inyectores. ....	52
<b>Figura 52.</b> Pruebas de inyectores ciclo bajos .....	52
<b>Figura 53.</b> Resultados de los inyectores mediante nivel de gasolina, ciclo bajo.....	53
<b>Figura 54.</b> Pruebas de inyectores ciclo medio y alto.....	53
<b>Figura 55.</b> Pruebas de inyectores ciclo medio y alto.....	54
<b>Figura 56.</b> Comparación de inyectores ciclo bajo y medio –alto. ....	55
<b>Figura 57.</b> Guía de componentes de la estructura general.....	58
<b>Figura 58.</b> Panel de mando del banco de pruebas. ....	59

## RESUMEN

El trabajo de proyecto de titulación “Diseño y construcción de un prototipo de banco de pruebas para la determinación de fallas de inyectores en autos a gasolina” es elaborada aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación en la vida profesional con la finalidad de diseñar, desarrollar y programar un equipo capaz de verificar el estado de los inyectores de vehículos a gasolina de manera económica, con una estructura sólida.

Este proyecto de titulación tiene como objetivo demostrar la capacidad y la creatividad a la hora de diseñar maquinaria utilizada en la vida cotidiana, sin la necesidad de depender de agentes externos ya que el banco de prueba es de autoría propia con la finalidad de ver el estado de los inyectores de gasolina, se inició con un análisis de alternativas para tomar variables de diseño para un banco de prueba eficiente, seguidamente de un estudio mecánico para determinar el tipo de material a usar, se usó el software SolidWorks para el diseño mecánico y realizar los planos de cada componente para su ensamble mecánico, conjuntamente de un diseño eléctrico que proporciona la ubicación correcta de los sensores, y actuadores presentes en el banco, conjuntamente con la programación de lenguaje libre Arduino con la finalidad de realizar pruebas en distintos ciclos de trabajo, en pequeño, mediano y alto con esto se logra simular el comportamiento de un vehículo, a la vez que proporciona el nivel del líquido otorgado por los inyectores a través de sensores ultrasónicos y son presentados la información en una pantalla LCD, demostrando el estado de cada uno de los inyectores en tiempo real.

Finalmente, se realizó pruebas de funcionamiento, para determinar los ciclos de trabajos sean iguales en los inyectores al mismo tiempo, conjunto con los sensores el cual otorga la información correcta del nivel de la gasolina, se corrigió errores presentes que afectan a la medición del líquido que puedan afectar la determinación de fallas en el inyector, el banco de prueba se encuentra en funcionamiento para realizar mejoras constantes con la finalidad de optimizar e innovar en el ámbito automotriz.

## **ABSTRACT**

The degree project work “Design and construction of a prototype test bench for determining injector failures in gasoline cars” is prepared by applying the knowledge acquired during training in professional life with the purpose of designing, developing and program equipment capable of verifying the status of gasoline vehicle injectors in an economical way, with a solid structure.

This degree project aims to demonstrate the ability and creativity when designing machinery used in daily life, without the need to depend on external agents since we are creators of the test bench in order to see the state of the gasoline injectors, it began with an analysis of alternatives to take design variables for an efficient test bench, followed by a mechanical study to determine the type of material to use, SolidWorks software was used for the mechanical design and make the plans. of each component for its mechanical assembly, together with an electrical design that provides the correct location of the sensors, and actuators present in our bench, together with the free Arduino language programming in order to carry out tests in different work cycles, in small, medium and high with this it is possible to simulate the behavior of a vehicle, at the same time it provides the level of the liquid provided by the injectors through ultrasonic sensors and the information is presented on an LCD screen, demonstrating the status of each of them. Injectors in real time

Finally, functional tests were carried out to determine the work cycles are the same in the injectors at the same time, together with the sensors which gives me the correct information on the gasoline level, present errors that affect the measurement of the liquid were corrected. That may affect the determination of injector failures, the test bench is in operation to make constant improvements in order to correct and innovate in the automotive field.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad tener un vehículo es sumamente indispensable en la vida diaria, si bien hoy en día los países de gran desarrollo disponen de autos eléctricos dejando atrás a los autos convencionales que utilizan gasolina o diésel. No obstante, un auto eléctrico en Ecuador es muy costoso y difícil de adquirir de esta manera, aunque la gasolina ha aumentado su valor, los usuarios eligen este tipo de vehículo. Con datos de los últimos años a partir del año 2019 hasta el año 2021 se han comercializado solamente 317 vehículos eléctricos, a comparación de los vehículos a gasolina que en el mismo periodo de tiempo se han comercializado alrededor de 65.604 una cifra muy superior demostrando que los autos a gasolina permanecerán mucho tiempo en el país, también es fundamental una empresa automotriz encargados de dar seguridad, mantenimiento y funcionamiento al vehículo, uno de los componentes de mayor necesidad en el vehículo a gasolina son los inyectores encargados de proporcionar la cantidad precisa a la cámara de combustión del motor, proporciona eficiencia y potencia.

Siendo necesario la revisión del funcionamiento de cada uno de los inyectores, un banco de prueba de inyectores es fundamental en la actualidad ya que ayuda a comprobar el correcto funcionamiento, reportes de perturbaciones o simplemente suciedad almacenada en el inyector, No obstante, La revisión de un inyector mediante un banco de pruebas mejora el correcto funcionamiento del motor. Sin embargo, un banco de pruebas resulta muy costoso debido a diversos factores que incrementan su valor, como el transporte y los impuestos de aduana al ser un producto importado. Esto dificulta la adquisición de esta maquinaria tanto para pequeños emprendedores que están comenzando con su negocio de centros automotrices, como para aquellos que no disponen del capital necesario para la inversión. Esta situación genera importantes pérdidas económicas y perjudica la imagen de los centros automotrices. Debido a que la mayoría de los clientes prefieren llevar sus vehículos a lugares completos, en los que se les garantice la seguridad y confianza, con equipo tecnológicos completos para el cuidado y funcionamiento óptimo de su vehículo.

## JUSTIFICACIÓN

Los inyectores de los vehículos son dispositivos que se encargan de pulverizar el combustible en el motor, y su correcto funcionamiento es primordial para el rendimiento y la eficiencia de este. Para verificar el estado y la limpieza, se utilizan los bancos de prueba, que son equipos que simulan las condiciones de trabajo de common rail accediendo a los distintos parámetros, como el caudal, la presión, el patrón de pulverización, la estanqueidad y la resistencia eléctrica.

Un banco de prueba para inyectores semiautomático ayuda a modificar parámetros para comprobar el funcionamiento y evaluar el estado del vehículo, un banco de pruebas con óptimo funcionamiento mejora en la eficiencia de combustible ya que dosifican la cantidad precisa de combustible que se mezcla con el aire en la cámara de combustión, lo que da como excelente resultado en el rendimiento de combustible a la vez que una menor emisión de gases contaminante, consiguiendo un importante beneficio en la durabilidad del motor, necesariamente se debe tener una buena calibración y un buen muestreo de los datos obtenidos para identificar fallas o irregularidades en los inyectores.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Diseñar y construir un banco de prueba semiautomático para la determinación de fallas de inyectores en autos a gasolina

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el proceso de calibración de inyectores mediante un estudio bibliográfico para la obtención de variables de diseño.
- Diseñar elementos mecánicos y electrónicos para el funcionamiento mediante un sistema de control para la variación de la frecuencia y duración de pulsos de los inyectores.
- Verificar el funcionamiento adecuado mediante pruebas en un entorno de trabajo real, identificando los errores y mejorando la eficiencia del banco.

## **CAPÍTULO I**

En este capítulo se recopila los estudios bibliográficos referentes para el desarrollo de diseño y construcción de un banco de pruebas a gasolina. Los elementos y características técnicas de bancos de pruebas para funcionamientos adecuados de los inyectores. A base de catálogos de los tipos de inyectores y su parámetro para correcto funcionamiento.

### **CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

#### **1.1 Vehículos a gasolina.**

Este tipo de vehículo ha sido una elección popular a nivel internacional durante décadas, especialmente antes de la llegada de los vehículos eléctricos y otros combustibles alternativos [1] .

Los automóviles de gasolina funcionan según el principio de combustión interna, en el que la gasolina se mezcla con el aire en la cámara de combustión y se enciende con una chispa eléctrica creada por una bujía. La energía liberada durante la combustión impulsa los pistones y crea el movimiento que impulsa el automóvil [1].

#### **1.2 Vehículos a combustible en Ecuador.**

Los vehículos a gasolina en Ecuador son más usados comúnmente por lo que el país no es tan desarrollado como países europeos y asiáticos que cada vez con su tecnología que impresiona al mundo dejando atrás a los autos a combustibles e imponer los automóviles eléctricos.

Los vehículos de combustión interna son considerados automóviles tradicionales y comunes en las carreteras del país. De acuerdo con la indagación realizada por Primicias Ec, se ha obtenido información sobre el porcentaje de vehículos totales entre eléctricos e híbridos en Ecuador, dando como resultado que los vehículos eléctricos representa un 8%, mientras que los habituales lideran con un 92%. Con las estadísticas presentes se logra prever que los autos a gasolina continuarán siendo utilizados durante muchos años, debido a la alta demanda en los mercados de ventas y el uso frecuente de este tipo de vehículos. [2].

#### **1.3 Funcionamiento de combustible en autos.**

El sistema de combustible de un vehículo de gasolina consta de varios componentes importantes que trabajan juntos para suministrar y controlar el combustible al motor de combustión interna, es necesario comprender el funcionamiento de cada sistema presente en

un vehículo a gasolina con la finalidad de entender cada uno de sus componentes que ayudan a que el vehículo pueda funcionar de forma óptima, las partes del sistema de combustión se presentan en la Figura 1. [3].



**Figura 1.** Funcionamiento de combustible. [3]

El funcionamiento el sistema de combustible en los automóviles de gasolina:

- **Tanque de combustible:** El vehículo tiene un tanque de combustible que almacena la gasolina hasta que sea necesario arrancar el motor y empieza la circulación del sistema.
- **Bomba de combustible:** La bomba de combustible ubicada en el tanque de combustible suministra la gasolina desde el tanque al motor a través de la línea de combustible.
- **Filtro de combustible:** Los filtros de combustible están diseñados para eliminar contaminantes y partículas no deseadas del combustible antes de llegar al motor, asegurando un suministro de gasolina limpio.
- **Inyectores de combustibles:** Estos inyectores de gasolina son responsables de entregar combustible al motor en forma atomizada fina y precisa, asegurando una mezcla óptima de aire y combustible para una combustión eficiente.
- **Regulador de presión de combustible:** El regulador de presión de combustible monitorea y mantiene la presión requerida en el sistema de combustible, asegurando que el motor siempre reciba una cantidad constante de gasolina.
- **Colector de admisión:** El colector de admisión distribuye la mezcla de aire y gasolina a los cilindros del motor para una combustión controlada.



- Sistema de gestión del motor: El sistema de gestión del motor, incluida la unidad control del motor, monitorea y controla varios parámetros como el suministro de gasolina, la mezcla de aire y combustible, el tiempo de encendido y otros factores para garantizar un rendimiento óptimo del motor [3].

#### **1.4 Parámetros correctos de los inyectores.**

Es esencial verificar y cuidar el flujo de combustible adecuado dentro de los límites que son establecidos por el fabricante del vehículo. Esto garantizará un rendimiento óptimo del motor, evadiendo problemas como una falla en la aceleración, una marcha inestable y un consumo excesivo de combustible. [4].

##### **1.4.1 Flujo de combustible.**

Influye en la calidad y cantidad necesaria que se suministra a un sistema de combustión, por lo cual es necesario que se encuentren parámetros establecidos mediante límites que son detallados por el fabricante del vehículo. Un flujo de combustible deficiente puede estimular inconvenientes en el rendimiento, tales como falla de aceleración o una marcha inestable [4]

##### **1.4.2 Patrón de pulverización.**

El patrón de pulverización del combustible debe ser uniforme y bien atomizado para garantizar una mezcla adecuada de aire y combustible en la cámara de combustión. Si el esquema de pulverización es deficiente puede causar una combustión incompleta y un rendimiento deficiente [4].

##### **1.4.3 Presión de operación.**

La presión de operación del sistema de combustible, contenidos los inyectores, debe conservar dentro de los intervalos favorecidos por el fabricante para certificar un suministro firme de combustible al motor [4].

##### **1.4.4 Estanqueidad.**

Los inyectores deben mantener una estanqueidad proporcionada para impedir fugas de combustible, lo que podría causar riesgos de seguridad y problemas de rendimiento [4].

##### **1.4.5 Funcionamiento eléctrico.**

En el caso de inyectores controlados electrónicamente, es esencial comprobar que la señal eléctrica que controla la apertura y cierre de los inyectores esté dentro de los parámetros concretos y que no haya cortocircuitos ni fallas eléctricas [4].

### **1.5 Descripción de banco de pruebas.**

Un banco de pruebas es una herramienta que se utiliza para verificar determinados componentes del sistema, evidenciar su funcionamiento y diagnosticar posibles problemas. Un soporte para comprobar el estado de los inyectores del sistema de inyección a gasolina en automóviles es una herramienta que permite determinar “cómo” están ubicados [4].

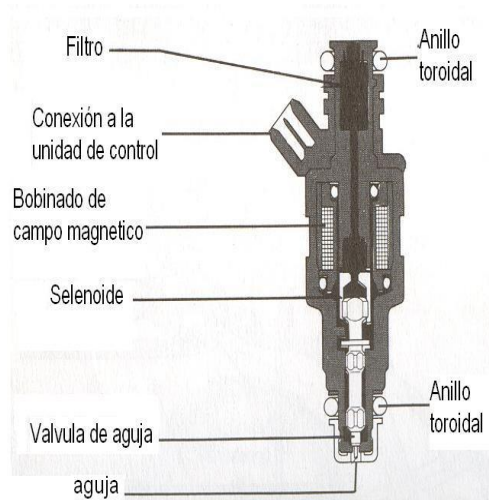
Al operar el sistema de inyectores proporcionará datos como el ángulo de pulverización del combustible, si hay goteo, apertura total o parcial del inyector dependiendo de la presión, lo que facilitará mucho el trabajo a la hora de realizar diagnósticos en el sistema de combustible para el auto [4].

### **1.6 Inyector a gasolina.**

El inyector de gasolina es un componente clave en los motores de combustión interna, especialmente para la gasolina, es una válvula tipo electromagnéticas que se proporcionan el combustible al motor, tiene un orificio de entrada fina para el microfiltro. Además, tiene varios orificios para la salida ya que está fabricado con tolerancias micras lo que esto va a admitir una pulverización del combustible [5].

Los inyectores de gasolina funcionan mediante una serie de válvulas controladas electrónicamente que se abren y cierran en fracciones de segundo, liberando combustible a la cámara de combustión [5].

La calidad y el rendimiento del inyector de gasolina es la base fundamental para el funcionamiento eficiente del motor. El mantenimiento regular y la limpieza de los inyectores de gasolina son necesarios para garantizar un rendimiento óptimo y evitar problemas como obstrucciones que puedan afectar el funcionamiento del motor. Es esencial entender las partes del inyector con la finalidad de concebir el funcionamiento óptimo permitiendo identificar las partes necesarias en caso de reparación o mantenimiento, se puede visualizar los componentes del inyector en la Figura 2.



**Figura 2.** Inyector a gasolina [6]

### **1.7 Impureza de los inyectores.**

La gasolina contiene partículas y químicos contaminantes. Estos polvos edificadores se acumulan en el interior del inyector y, debido a la temperatura, cristalizan y se adhieren a las paredes del inyector, incitando que el inyector falle y no funcione correctamente [7].

El propio fabricante recomienda limpiarlo máximo 40 mil kilómetros de recorrido; Por este motivo se utilizan varias técnicas de limpieza como:

#### **1.7.1 Limpieza con aditivos.**

El aditivo o agente limpiador se añade directamente al depósito de combustible, donde ambos se mezclan y sus componentes actúan sobre las partículas de suciedad presentes en el depósito y en los circuitos [7].

#### **1.7.2 Limpieza por cepillado.**

El proceso es manual, el sistema aplica un fluido limpiador que se instala en el riel del inyector donde se libera el fluido cuando el motor está en marcha, limpiando así el inyector mientras trabaja [7].

#### **1.7.3 Limpieza por ultrasónico.**

Después del análisis, se limpian mediante inmersión en un baño recubierto con un agente limpiador especial, donde se generarán pulsos ultrasónicos que los devolverán a las condiciones normales de funcionamiento [7].

### 1.8 Funcionamiento de un inyector de gasolina.

Los inyectores funcionan con una alimentación de combustible a presión (en gasolina, mínimo 3 bares, en diésel mucho más alta, alrededor de 2000 bar en los últimos motores euro 6) desde el raíl, y previamente desde la bomba de gasolina. Además, dependiendo del tipo de inyección del motor indirecta, directa y multipunto. La salida de inyección del propio inyector se canalizará al colector de admisión, cerca de la culata, o directamente a la cámara de combustión [8].

Este proceso se repite secuencialmente en cada ciclo de trabajo del motor, lo que permite un control preciso del suministro de combustible en función de los requisitos cambiantes del motor. El inyector es una electroválvula que se encarga de pulverizar la gasolina que pasa a través de este medio de oscilaciones entre la apertura y cierre a altas frecuencias de trabajo y una serie de componentes específicos que le permite llevar a cabo el funcionamiento del inyector, en la Figura 3. Se logra visualizar un diagrama de funcionamiento del sistema de conexión eléctrica de un vehículo, proporcionando información crucial para el desarrollo de un sistema common rail. [9].

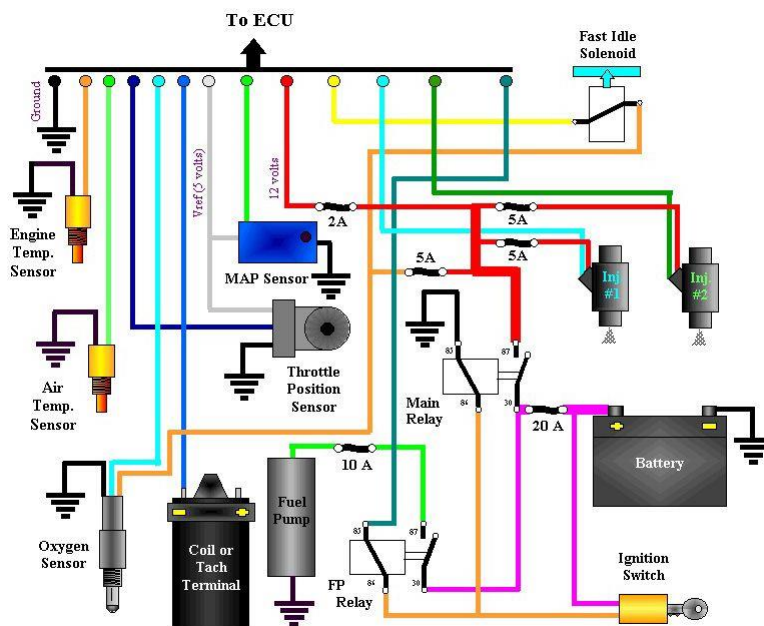


Figura 3. Circuito de inyección electrónica [9].

### **1.8.1 Recepción de la señal.**

Esta señal es generada por el sistema de gestión del motor en función de varios parámetros, incluida la velocidad del motor, la carga, la temperatura del motor y la posición del acelerador [9].

### **1.8.2 Apertura y cierre de la válvula.**

Cuando recibe una señal eléctrica, la válvula se abre rápidamente, permitiendo que el combustible fluya a través del inyector en un chorro fino [9].

### **1.8.3 Pulverización de combustible.**

la pulverización de combustible es un proceso que se utiliza para convertir el combustible líquido en una neblina de gotas finas, accediendo a una mejor mezcla con el aire y una combustión más eficaz en los motores de combustión interna [9].

### **1.8.4 Cierre de la válvula.**

Una vez que se ha inyectado la cantidad requerida de combustible, la señal eléctrica del módulo del control del motor por sus siglas en inglés (ECM) se detiene, lo que cierra la válvula del inyector [9].

## **1.9 Modulación de ancho de pulsos y ciclo de vida útil.**

La modulación de ancho de pulso por sus siglas en inglés (PWM) es una técnica de control que se puede utilizar para variar la cantidad de combustible inyectado en un motor de combustión interna. Cuando el ancho de pulso es más extenso, se está inyectando una mayor cantidad de combustible, mientras que un ancho de pulso más breve indica una menor cantidad de combustible siendo introducida.

### **1.9.1 El ciclo de vida de un banco de pruebas de inyectores**

Para extender la vida útil de banco de pruebas, es importante maniobrar dentro de los límites recomendados por el fabricante. Además de los factores citados anteriormente, la vida útil del banco de pruebas también se ve influenciada por la calidad de los inyectores utilizados. Para lograr los mejores resultados, es importante utilizar common rail de alta calidad y operar el banco de pruebas dentro de los límites recomendados por el fabricante [10].

A continuación, se presentan algunos consejos para prolongar el ciclo de vida útil de un banco de prueba de inyector:

- Mantener la temperatura del banco por debajo de la temperatura máxima recomendada.
- Evite aplicar pulsos PWM de frecuencia demasiado alta.
- Utilice inyectores de alta calidad.
- Ejecute el mantenimiento del banco de prueba de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

### 1.9.2 Ancho de Pulso

El ciclo de trabajo o ancho de pulso es una característica importante del PWM porque permite modificar sus características. Para cambiar el valor de un PWM lo que se hace es modificar el tiempo de apertura de la señal, en la Figura 4. Se muestra la modulación de ancho de pulso, con un ciclo de trabajo al 90% es decir que la mayoría de tiempo el sistema se encuentra encendido mientras que el 10% se apaga en un ciclo constante mediante un tiempo establecido. [10].

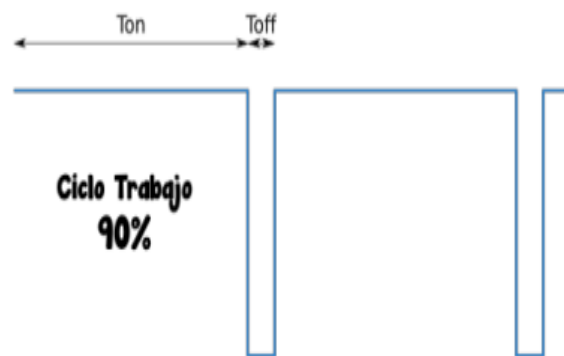
$$DC = \frac{T_{on}}{T} \times 100$$

Donde:

*DC: Duty Cycle o ancho del pulso*

*T<sub>on</sub>: El tiempo que el señal permanece alto*

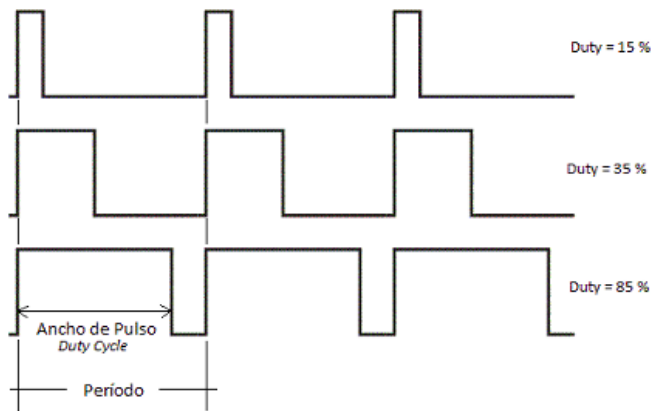
*T: la suma entre T<sub>on</sub> y T<sub>off</sub>*



**Figura 4.** Modulación de ciclo de trabajo [10].

Al variar el ciclo de trabajo de una señal PWM, es posible variar el voltaje promedio que recibe un dispositivo electrónico para su funcionamiento [11].

En la figura 5. Se muestra que gráficamente el periodo de una señal PWM y el ancho del pulso del ciclo de trabajo que compone dicha señal. Variando los valores del ancho de pulso se modifica el valor que genera el PWM. [11].



**Figura 5.** Señal PWM variación ciclo de trabajo [10].

### 1.9.3 Generador de pulso para inyectores.

Para su funcionamiento este generador se divide en tres principales etapas que cumple su rol importante.

- **Zona 1-oscilador:** básicamente es un 555 que está configurado para que se produzca una onda estable y que sea configurable mediante el potenciómetro.
- **Zona 2-Disipador:** en esta parte se encarga de aplicar el disparo de 20ms para la apertura de inyector sin importar cuanto tiempo se demora el pulso enviado por el oscilador.

El funcionamiento es bastante sencillo: cuando el oscilador da un pulso positivo, C5 inicia el proceso de carga, pasando rápidamente corriente a C4 para cargar a través de D4. El CS intercepta el pulso del oscilador después de la carga [11].

R11 y R10 descargan rápidamente C5 cuando la onda del oscilador cambia de alta a baja. Dado que, de lo contrario, permanecería activado durante impulsos inferiores a 20 ms, DS está destinado a estabilizar el impulso de inyección a alta frecuencia [11].

**Zona 3-ctrl potencia:** El trabajo de RV2 y R4 es reducir el tiempo de descarga de C4 y controlar la corriente que pasa por el inyector [11]. Se puede ajustar a simple vista simplemente observando el nivel de iluminación del LED D2.

El TIP 122 controla la activación de los inyectores y da una gran potencia de salida, pero al ser bipolar genera mucho calor, por ende, es importante instalar un disipador de calor para

que no se pueda exhibir problema a causa de quemadura, en la Figura 6. Se aprecia el circuito integrado necesario para la generación de pulso para los inyectores, presentando un circuito completo para la verificación de funcionamiento tipo common rail [11].

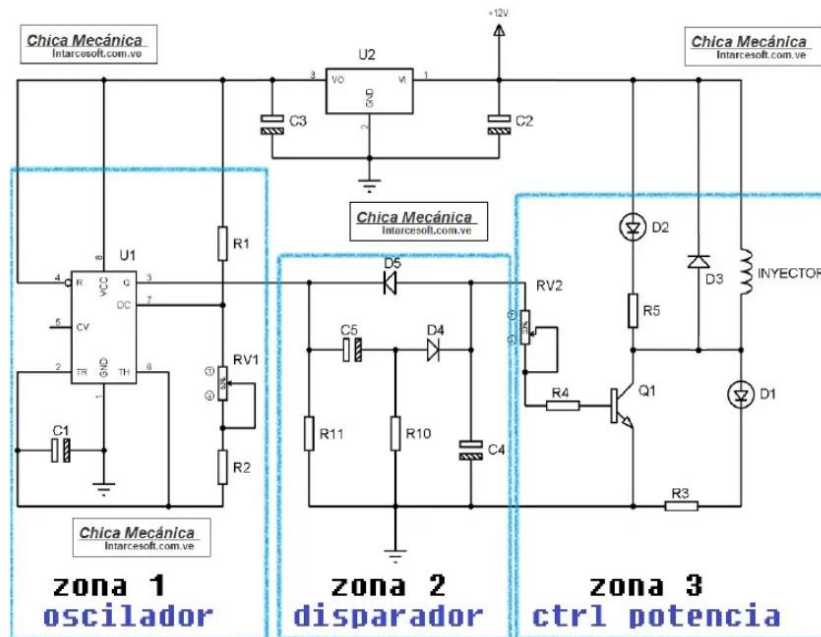


Figura 6. Circuito generador de pulsos [11].

#### 1.9.4 Tipos de circuito controladores inyectores.

Hay dos tipos de circuitos excitadores de transistores los cuales se utiliza para manipular los inyectores de combustible a estos le conoce como los circuitos de controladores de voltaje (para inyectores de baja resistencia, pero normalmente se usa para la alta impedancia). Por otra parte, los circuitos controladores de corriente (únicamente se utiliza para para los inyectores de baja impedancia) [12]. Por ende, si no existiera alguna forma de control, el flujo de la corriente a través de los inyectores ocasionando que las bobinas se sobrecalientan considerablemente y esto causaría consecuencia grave en el daño de inyector.

#### 1.9.5 Circuito de control voltaje y corriente.

Cuando el transistor se activa, completa el circuito, y cuando se apaga, provoca que el circuito se abra.

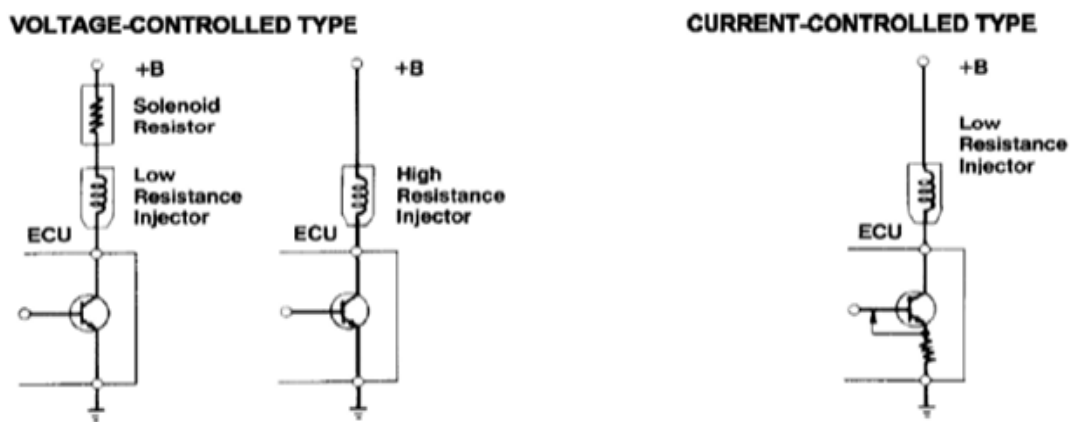
El circuito de control de corriente es más complejo que el circuito regulador de voltaje porque, como su nombre indica, debe limitar el flujo de corriente además de su función de conectar y desconectar uno de los contactos del inyector. Una vez que se activa el transistor, el sistema no restringirá el flujo de corriente hasta que haya pasado el tiempo suficiente para



que se abra el estrangulador del inyector [13].

Este período lo establece el fabricante del sistema y depende de la cantidad de corriente necesaria para abrir el inyector, normalmente de 2 a 6 amperios. Una vez que se abre el acelerador del inyector, el flujo de refuerzo se reduce significativamente. La duración del pulso es para proteger el inyector del sobrecalentamiento [13].

Otro método consiste en encender y apagar el circuito, lo que ocurre tan rápido que el campo magnético nunca se detiene, de modo que la válvula de cierre permanece abierta pero la corriente se reduce considerablemente [13]. La ventaja del circuito de control actual es el corto tiempo que lleva abrir el inyector. Es el producto del pico de corriente debido a la baja resistencia del circuito, observa figura 7.

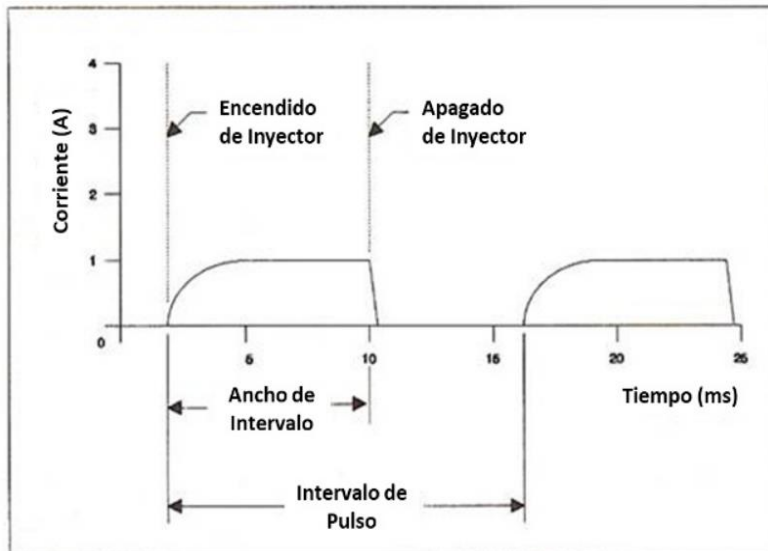


**Figura 7.** Circuito controlado para inyectores [13].

### 1.9.6 Curva característica de flujo de inyector.

La curva característica del inyector es una representación gráfica de la relación entre el tiempo de apertura del inyector y la cantidad de combustible inyectado. La curva se genera midiendo la cantidad de combustible inyectado a diferentes tiempos de apertura.

La curva característica se puede modificar dependiendo del diseño y calibración de los inyectores, la comprensión de la curva es esencial para la optimización de mezcla entre aire y combustible generando una eficiencia y rendimiento en el motor del vehículo, en la Figura 8. Se observa la curva característica de flujo del inyector referente a la relación entre la duración de apertura y cierre del inyector. [14].



**Figura 8.** Curva flujo de inyector [14].

- La curva característica del inyector se compone de dos partes:
- La pendiente de la curva: Representa la tasa de flujo del inyector. Una pendiente más pronunciada indica una tasa de flujo más alta [14].

La altura de la curva: Representa la cantidad máxima de combustible que puede inyectar el inyector.

### 1.9.7 Mantenimientos.

Son responsables de inyectar el combustible en la cámara de combustión en el momento adecuado y en la cantidad adecuada. Si los inyectores no funcionan correctamente, pueden causar una serie de problemas, como pérdida de potencia, mayor consumo de combustible y emisiones contaminantes. Para mantener los inyectores de gasolina en buen estado, es sustancial realizar un mantenimiento habitual [15]. El mantenimiento de los inyectores de gasolina incluye:

**Cambio del filtro de combustible:** El filtro de combustible ayuda a excluir las impurezas del combustible antes de que alcancen a los inyectores. Se recomienda cambiar el filtro de combustible en intervalo de 35.000 a 40.000 kilómetros o cada 2 años, lo que ocurra antes [15].

## CAPÍTULO II

### 2. ESTUDIO DE ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.

En el siguiente capítulo de estudio de alternativas se aprecia distintos bancos de pruebas en el mercado, con la finalidad de sacar variables de diseño siendo los más aptos para la adaptación de un banco de pruebas semiautomático, en la actualidad existen varios tipos, siguiendo un patrón de componentes mecánicos y electrónicos similares con el fin de comprobar el funcionamiento de los inyectores de un vehículo a gasolina, uno de los bancos de prueba conocido en el mercado es el banco de prueba y limpieza de inyectores.

#### 2.1 GT-600-PRO de la marca GLOBALTECH.

El modelo GT-600-PRO de la marca GLOBALTECH presenta un modelo compacto con distintas características presentadas en la siguiente Tabla 1.

El presente banco de pruebas es utilizado para evaluar y medir el rendimiento de los inyectores de combustible, permitiendo simular las condiciones del motor con la finalidad de verificar la eficiencia de los inyectores. En la figura 9. Se observa el banco de pruebas a 6 inyectores de la marca GLOBALTECH, presentando su estructura y sus características físicas visibles.



Figura 9. GT-600-PRO [16].

<b>características técnicas del banco de pruebas GT-600-PRO</b>	
<b>Trabajo</b>	1 a 6 inyectores
<b>Variación de RPM</b>	10-9990, pasos 10RPM
<b>Ancho de pulso</b>	0.5 -25ms, pasos 0.1ms
<b>Capacidad de tanque</b>	3 litros
<b>Bomba de alta presión</b>	7 bar
<b>Potencia tina ultrasónica</b>	100W hammer
<b>Voltaje de trabajo</b>	120V - 50/60Hz
<b>Peso</b>	35kg

**Tabla 1.** Características técnicas del banco de pruebas GT-600-PRO.

Las características principales de diseño mecánico del modelo GT-600-PRO de 6 inyectores se muestran en la tabla 2.

<b>Características de diseño mecánico</b>	
<b>Material estructura general</b>	Acero alta resistencia
<b>Pintura</b>	Poliuretano
<b>Probetas</b>	Vidrio templado

**Tabla 2.** Características de diseño mecánico.

## **2.2 Limpiador y comprobador marca AUTOOL.**

Banco de pruebas de la marca AUTOOL presenta un diseño más simple, cómodo y de fácil movilidad, consta de solo 4 probetas es decir para 4 inyectores, en la Figura 10. Se aprecia su estructura completa del banco de pruebas permitiendo observar sus características de diseño, colores y detalles. El banco tiene el objetivo de comprobar el funcionamiento de los inyectores a la vez que realiza una limpieza mediante ultrasonido, se presenta las características del siguiente banco de pruebas en la tabla 3 y tabla 4.



**Figura 10.** Banco de pruebas 4 probetas AUTOOL [17] .

<b>Características técnicas del Limpiador y comprobador de inyectores 4 probetas autoool</b>	
<b>Capacidad del tanque</b>	2000ml
<b>capacidad del cilindro de medición</b>	140ml
<b>Rango de velocidad</b>	0 - 7500 rpm
<b>Tiempo de inyección</b>	0-9900, 100ms
<b>Pulso PWM</b>	0-20ms, 0.1ms
<b>Presión del sistema</b>	0 - 0.6Mpa
<b>Tiempo de inyección</b>	0 - 20 minutos
<b>Poder ultrasónica</b>	70W
<b>Frecuencia de limpieza</b>	28 KHZ $\pm$ 0.5 KHZ

**Tabla 3.**Características técnicas banco de prueba de inyectores 4 probetas AUTOOL.

Las características principales de diseño mecánico del banco de pruebas de 4 probetas de la marca autoool se muestran en la tabla 4.

<b>Características de diseño mecánico</b>	
<b>Material estructura general</b>	Acero inoxidable
<b>Pintura</b>	Al horno
<b>Probetas</b>	Plástico

**Tabla 4.**Características de diseño mecánico.

### **2.3 Banco de pruebas de inyectores marca GDI.**

El banco de pruebas de la marca GDI, es de origen asiático, exhibe un diseño compacto y resistente, a la vez que presenta características de diseño aptas hacia las distintas pruebas de inyectores, en la Figura 11. Se aprecia el diseño, características físicas y detalles del banco de pruebas. Las características técnicas se presentan, en la tabla 5.



**Figura 11.** Banco de pruebas 4 probetas GDI [18] .

---

**Características técnicas de limpieza de inyectores de combustible GDI**

---

<b>Suministro de energía</b>	CA 220V $\pm$ 15% 50Hz 400w
<b>Capacidad del tanque</b>	6 litros
<b>Capacidad del tubo</b>	120ml
<b>Potencia ultrasónica</b>	100W
<b>Frecuencia ultrasónica</b>	25kHz
<b>Velocidad</b>	0-9999 rev/min paso 50 rev/min
<b>Ancho pulso</b>	0 -3 ms, 0.1 ms paso
<b>Rango de registro</b>	0-9999 veces, tamaño 50
<b>Rango de temporización</b>	0 - 9999 segundos

---

**Tabla 5.** Características técnicas de limpieza de inyectores de combustible GDI.

Las características principales de diseño mecánico del banco de pruebas de la marca GDI se muestran en la tabla 6.

---

**Características de diseño mecánico**

---

<b>Material estructura general</b>	Acero
<b>Pintura</b>	Al horno
<b>Probetas</b>	Vidrio

---

**Tabla 6.** Características de diseño mecánico

### **2.4 Banco de pruebas de 6 inyectores ENC602a.**

En la figura 12. Se observa el banco de pruebas elaborado por la marca CONSINO presentando la última tecnología para la calibración y medición de inyectores, este banco permite ver el goteo o estanqueidad a la vez que una limpieza mediante ultrasonido a continuación se realizó una tabla con las distintas características tabla 7.



**Figura 12.** Banco de pruebas 6 probetas ENC602a [19].

<b>Características técnicas de limpieza de inyectores de combustible GDI</b>	
<b>Suministro de energía</b>	CA 110V/220V 50Hz 200w
<b>Capacidad del tanque</b>	4 litros
<b>Capacidad del tubo</b>	1 litro
<b>Potencia ultrasónica</b>	100W
<b>Frecuencia ultrasónica</b>	25kHz
<b>Velocidad</b>	0-9999 rev/min paso 50 rev/min
<b>Encendido de limpieza</b>	100W
<b>Rango de RPM</b>	10 - 9990rpm
<b>Rango de temporización</b>	0 - 9999 segundos

**Tabla 7.** Características técnicas de Banco de prueba de inyectores 6 probetas ENC602a.

Las características principales de diseño mecánico de 6 inyectores de la marca ENC602a se muestran en la tabla 8.

<b>características de diseño mecánico</b>	
<b>Material estructura general</b>	Acero Galvanizado
<b>Pintura</b>	Poliuretano
<b>Probetas</b>	Vidrio

**Tabla 8.** Características de diseño mecánico.

### **2.5 Análisis para el banco de pruebas mediante las alternativas presentes.**

Con la finalidad de apreciar las características mecánicas y eléctricas, se realizó las distintas tablas captando lo más destacado del banco de pruebas para inyectores, con este análisis se consigue evaluar lo más óptimo con el objetivo de avanzar a un banco de pruebas semiautomático, con el presente análisis de alternativas se tomará decisiones que abarque a

un buen funcionamiento, adaptación y seguridad a un banco de pruebas semiautomático, a la vez que se avanza con los cálculos de diseños tanto mecánico como eléctrico, para determinar los componentes necesario y fundamentales en el banco, sin embargo de este análisis alternativas uno de los componentes a utilizar son las probetas su material dependerá de la necesidad del proceso, a continuación viene una explicación breve del material común a utilizar.

### **2.5.1 Material probetas a utilizar.**

El material de las probetas es crucial en el banco de pruebas, siendo este una herramienta fundamental en el banco ya que es el encargado de llevar una variedad de pruebas específicas para evaluar y mostrar las diversas caracterizar y propiedades de los inyectores. Para la selección de las probetas es necesario tener en cuenta la necesidad a la que va a estar expuesta, en la tabla 2. Se presenta el vidrio templado con el fin de aumentar la resistencia y durabilidad, distintas empresas adaptan este material, sin embargo, otras marcas usan un material menos costoso el plástico, que cumple con la misma finalidad observar el comportamiento del líquido de los inyectores, al ser un material menos resistente, está expuesto a daños externos, que pueden ocasionar el disfuncionamiento del banco

### **2.5.2 Material de la estructura.**

En las tablas 2, 4, 6 y 8. Se aprecia que las distintas marcas utilizan un material duro, resistente y seguro, a la vez que sea ligero para el transporte del mismo, para la determinación del material es necesario realizar un buen diseño mecánico, para obtener fuerzas que actúan sobre la estructura y seleccionar un material apto, actualmente existen plataformas permitiendo establecer las características mecánicas con la finalidad de proporcionar una lista completa de materiales aptos así como también costos, propiedades físicas químicas del material ajustadas las necesidades del proyecto.



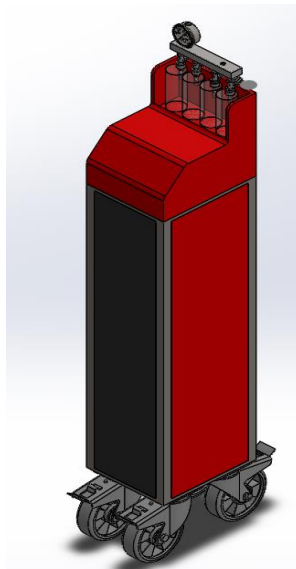
## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE DISEÑO.

El diseño y la construcción de un banco de pruebas de inyectores a gasolina es una tarea compleja que requiere una comprensión clara y precisa de los principios de funcionamiento de los inyectores. Al seguir los pasos descritos en este capítulo, puede diseñar y construir un banco de pruebas efectivo que satisfaga las necesidades del proyecto.

#### 3.1.1 Estructura de diseño mecánico.

Estructura diseñada para la prueba de 4 inyectores está determinado y diseñada de tal modo que este sea más amigable y viable para el operario de la máquina, está compuesto fundamentalmente de dos partes, la estructura en sí, y el riel de inyectores con su estructura y ajuste. El modelo del diseño fue dibujado en software de ingeniería SOLIDWORK e INVENTOR. La estructura física la disponen diferente configuración del prototipo. A continuación, se muestra diferentes vistas para el acople de ensamblado, observa la figura 13.

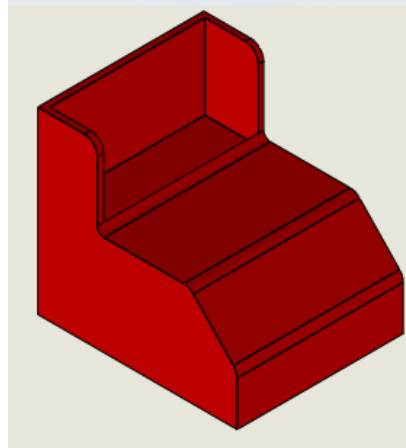


**Figura 13.** Ensamble completo del banco de pruebas.

#### 3.1.2 Diseño de la estructura principal del banco de pruebas

La base es sumamente importante ya que se encuentra presentes la mayoría de los componentes electrónicos, las probetas, los sensores, el manómetro, con el fin de realizar una estructura rígida, resistente y a la vez flexible para el transporte se propone diseñar una

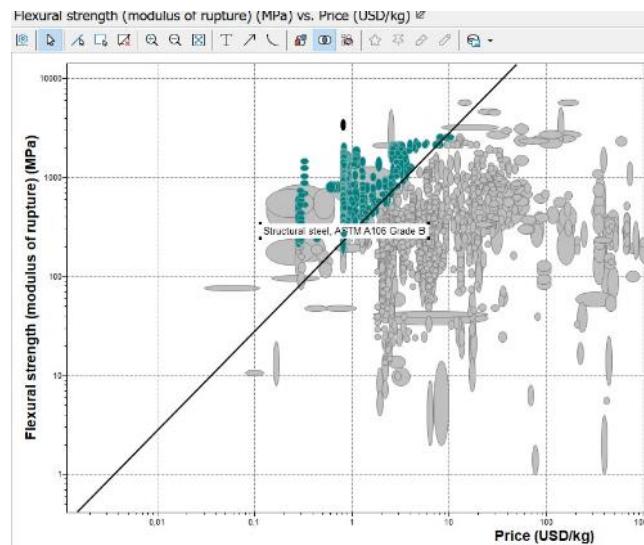
base no muy grande, pero a la vez me permita ingresar los componentes electrónicos de manera ordenada, el diseño de la estructura general del banco de pruebas mediante el software SolidWorks son presentadas en la figura 14.



**Figura 14.** Base principal del banco de pruebas.

### 3.1.3 Selección de material

Previamente se realizó un análisis de alternativas con el propósito de sacar variables de diseño aptos para la aplicación de un banco de pruebas para inyectores a gasolina, se seleccionó como material base el acero inoxidable, con el software EduPack se realizó los límites efectuados en el banco para obtener los tipos de acero, y se seleccionó el más apto para el banco, las figuras 15, 16 y 17.



**Figura 15.** Límites para la selección de material Edupack.

**Structural steel, ASTM A36**

Ver hoja de datos: All attributes Mostrar/ocultar Encontrar similar

Metals and alloys > Ferrous > Microalloy and high strength steels > Structural >

**General information**

Ansys Name: Structural steel, **ASTM A36**

**Designation** ⓘ  
Structural steel, **ASTM A36**, wrought

Condition ⓘ: As rolled  
UNS number ⓘ: K02600  
US name ⓘ: **ASTM A36**

**Typical uses** ⓘ  
Bridges, building structures, welded, bolted and riveted structures, oil rigs, base plates, forgings, gears, automotive parts, agricultural equipment, machinery parts.

Included in Materials Data for Simulation ⓘ:

**Composition overview**

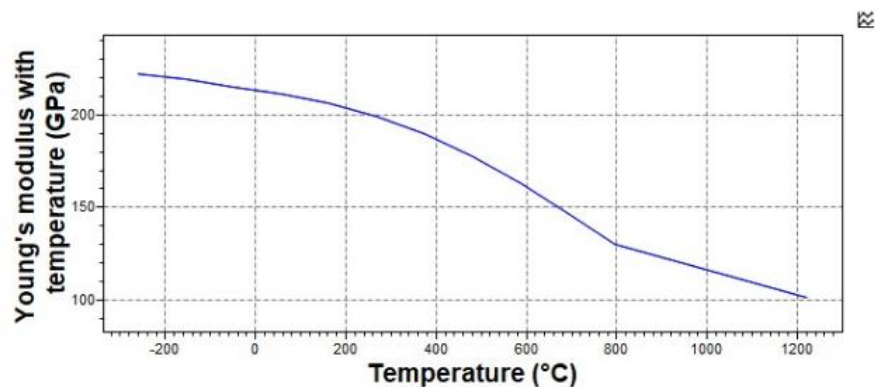
**Compositional summary** ⓘ  
Fe98.99 / Mn0.6-1.2 / Cu0.2 (impurities: Si<0.4, C<0.29, S<0.05, P<0.04)

Material family ⓘ: Metal (ferrous)  
Base material ⓘ: Fe (Iron)

**Figura 16.** Características de material en Edupack.

Price	ⓘ	* 0,777 - 0,862	USD/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 6,06e3 - 6,81e3	USD/m³
<b>Physical properties</b>			
Density	ⓘ	7,8e3 - 7,9e3	kg/m³
<b>Mechanical properties</b>			
Young's modulus	ⓘ	200 - 212	GPa
Young's modulus with temperature	ⓘ	212 - 212	GPa

[Parámetros](#): Temperature = 23°C

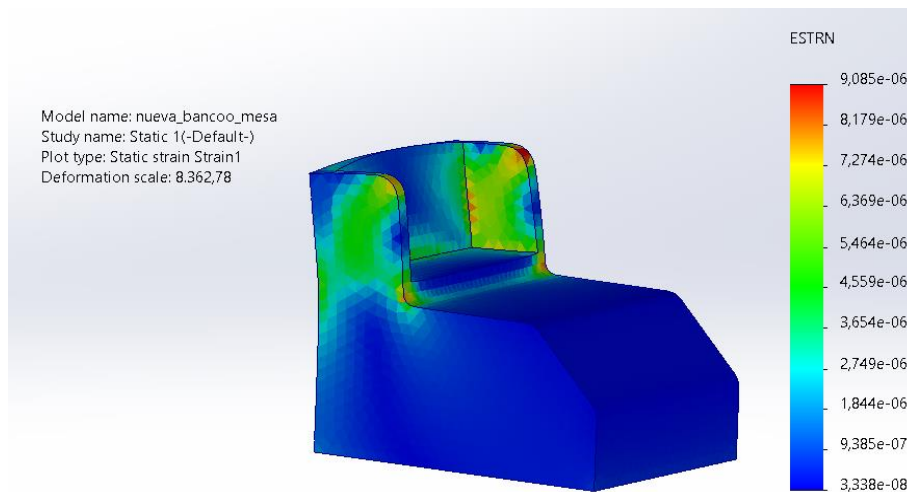


**Figura 17.** Características de material en Edupack.

### 3.1.4 Análisis estructural

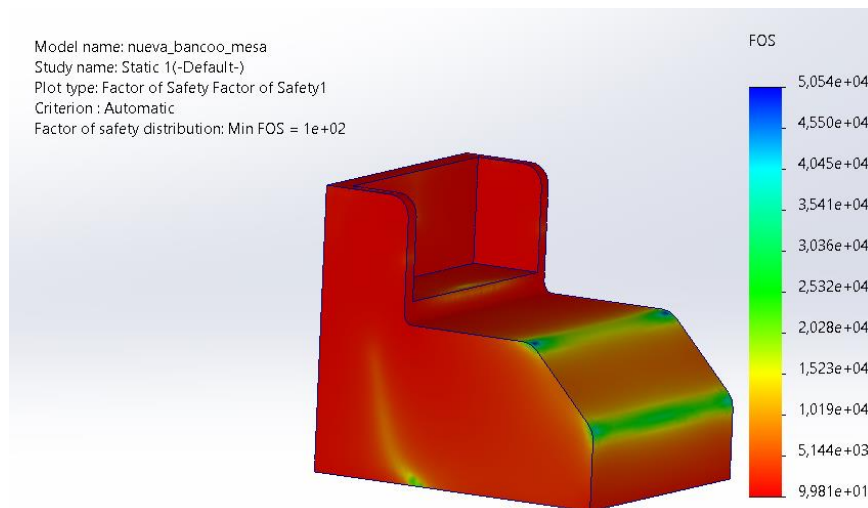
Una vez seleccionado el material es necesario realizar el análisis estructural ya que se va a efectuar cargas presentes en la estructura, el peso a considerar viene de los componentes a utilizar, tales como: sensor ultrasónico: 0,4 kg, probetas: 3,88kg, inyectores presos: 0,72kg, riel de inyectores peso: 0,72kg, manómetro 0,12kg, manguera 0,5kg, cables 0,7kg, partiendo de un peso total de 7kg de peso el cual deberá soportar, se realiza el análisis mediante el software SolidWorks, como se observa en las figuras 18 y 19 de las simulaciones de deformación y factor de seguridad.

La simulación de deformación mediante SolidWorks es esencial para obtener información valiosa sobre el comportamiento del banco de pruebas, ya que se encuentra expuesta a las distintas cargas presentes, al realizar la simulación de deformación se obtiene como resultado el comportamiento de la estructura en general, observar figura 18. Se presenta las gráficas obtenidas mediante simulación, los resultados presentan zonas específicas del banco que son más susceptibles en la deformación, el rendimiento del banco presenta una sostenibilidad a las fuerzas y momentos aplicados, a la vez que facilita encontrar fallos o irregularidades inesperadas que pueden comprometer con el banco de pruebas.



**Figura 18.** Simulación de deformación en SolidWorks.

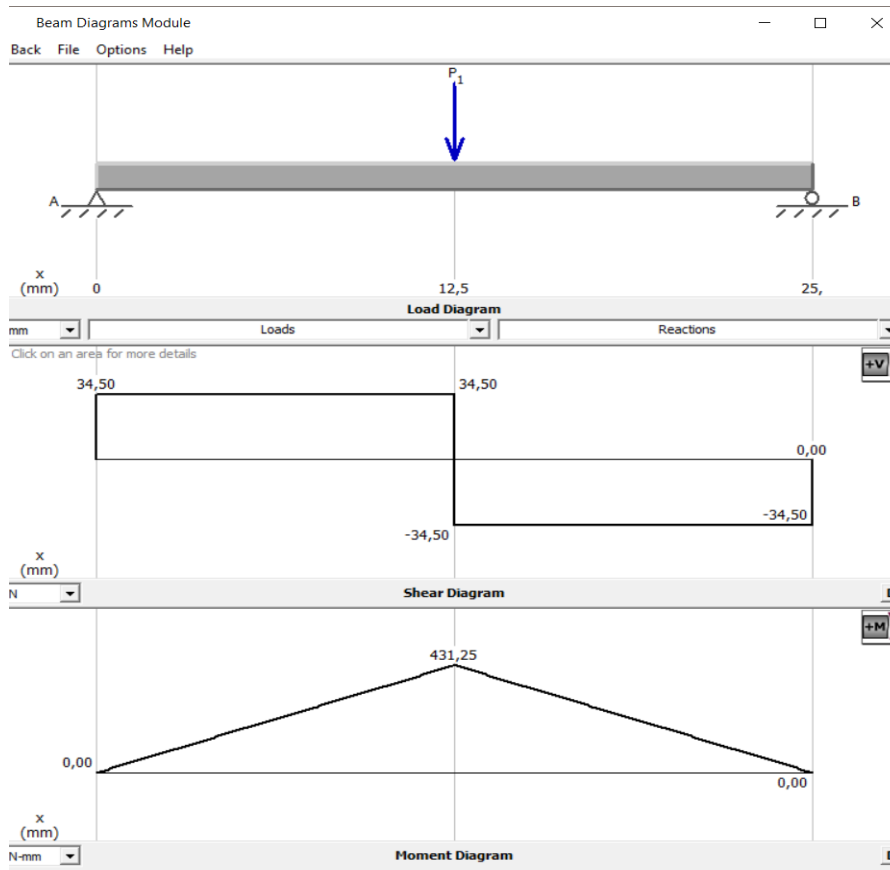
El factor de seguridad proporciona la relación entre la capacidad de las cargas máximas exhibidas en el banco de pruebas, a la vez que presenta las cargas a las que son expuestas en condiciones de servicio, la simulación mediante SolidWorks presenta la información detallada sobre los esfuerzos máximos en las distintas partes de la estructura, para evaluar si el factor de seguridad se encuentra en condiciones se compara con los valores límites permisibles del material, el factor de seguridad otorgada por la simulación es mayor a 1, esto indica que la estructura es capaz de resistir las cargas aplicadas en el sistema garantizando el buen diseño, brindando seguridad, resistencia y robustez en la estructura del banco de pruebas.



**Figura 19.** Simulación de factor de seguridad en SolidWorks.

### 3.1.5 Cálculo de fuerzas y momentos

Para realizar los respectivos cálculos de momentos y fuerzas se utilizó el software de MDSolid 4.0 el cual será presente la fuerza de 69N, en Figura 20.



**Figura 20.** Cálculo de momento máximo.

### 3.1.6 Cálculo de factor de seguridad de la estructura de tubo de la mesa

Con el material previamente seleccionado acero A36 se calcula el factor de seguridad: se tomó dimensión de catálogo DIPAC, de la Figura 21.

$$\sigma_t = \frac{M}{S}$$

$$\sigma_t = \frac{431,25 \text{ N} \cdot \text{m}}{1,18 \cdot 10^1 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_t = 36.54 \text{ MPa}$$

$$f_s = \frac{0.61(S_y)}{\sigma_t}$$

$$f_s = \frac{0.61(250 \text{ MPa})}{36.56 \text{ MPa}}$$

$$f_s = 4.17$$

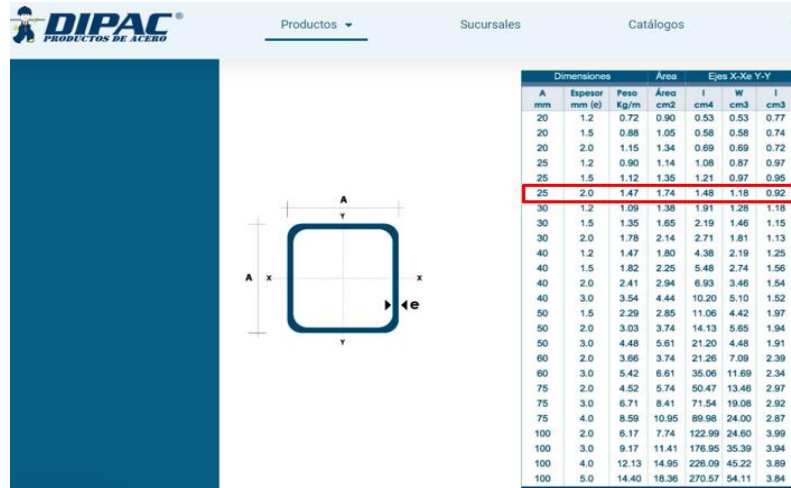
Donde

$\sigma_t$ = Esfuerzo de trabajo

$M$ = momento máximo

$S$ =modulo de la sección transversal

$S_y$ = Resistencia a la cadencia



Dimensiones			Area		Ejes X-Xe Y-Y		
A	Espesor	Peso	Area	I	W	I	
mm	mm (e)	Kg/m	cm2	cm4	cm3	cm3	
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77	
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74	
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72	
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97	
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95	
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.16	0.92	
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18	
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15	
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13	
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25	
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56	
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54	
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52	
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97	
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94	
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91	
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39	
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34	
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97	
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92	
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87	
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99	
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94	
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89	
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84	

Figura 21. Selección tubo cuadrado para mesa mediante DIPAC [20].

### 3.1.7 Diseño de mesa del banco de pruebas

Para el diseño de la mesa, se utilizó tubo estructural de acero estructural A36 de 25x25x2mm, siendo un material de carbono que cumple con las necesidades del banco, ya que la mesa estará expuesta a cargas y esfuerzos, el perfil seleccionado mediante catálogo concede resistencia y ductilidad, este tipo de acero es conocido por su facilidad de soldadura, lo que facilita en el ensamblaje del dispositivo tecnológico, a comparación con otros aceros el material seleccionado es más asequible, otorgando un gran rendimiento y mejorando costos de fabricación. En la figura 22. Se observa la estructura de la mesa.

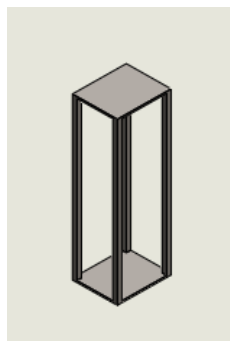


Figura 22. Tubo estructural y mesa del banco.

### 3.1.8 Análisis Estructural de la mesa del banco de pruebas

La mesa será sometida a la fuerza puntual del banco de pruebas, el cual tiene un peso total de 12kg, se deberá resistir el peso, por lo que se realiza los cálculos respectivos de momentos y reacciones.

### 3.1.9 Cálculo de reacción

$$\text{Peso: } 12 \text{ Kg} = 117.66 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0 = (117.66 \text{ N} \times 0.125\text{m}) - R_b(0.25\text{m})$$

$$\mathbf{R_b = 58.83 \text{ N}}$$

$$\sum M_b = 0 = (R_a \times 0.25\text{m}) - (117.66 \times 0.125\text{m})$$

$$\mathbf{R_a = 58.83 \text{ N}}$$

$$\sum F = 0$$

$$R_a + R_b = (58.83\text{N} + 58.83\text{N}) - 117.66\text{N} = 0$$

### 3.2 Cálculo de momento máximo

$$M_a = 0$$

$$M_b = M_a + [Area]_{ab}$$

$$[Area]_{ab} = V_{ab} \times 0.125\text{m} = 58.83\text{N} \times 0.125\text{m}$$

$$[Area]_{ab} = 7.353 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{M_b = 7.353 \text{ Nm}}$$

$$M_c = M_b + [Area]_{bc}$$

$$[Area]_{bc} = V_{bc} \times 0.125 = -58.83 \times 0.125\text{m}$$

$$[Area]_{bc} = -7.353 \text{ Nm}$$

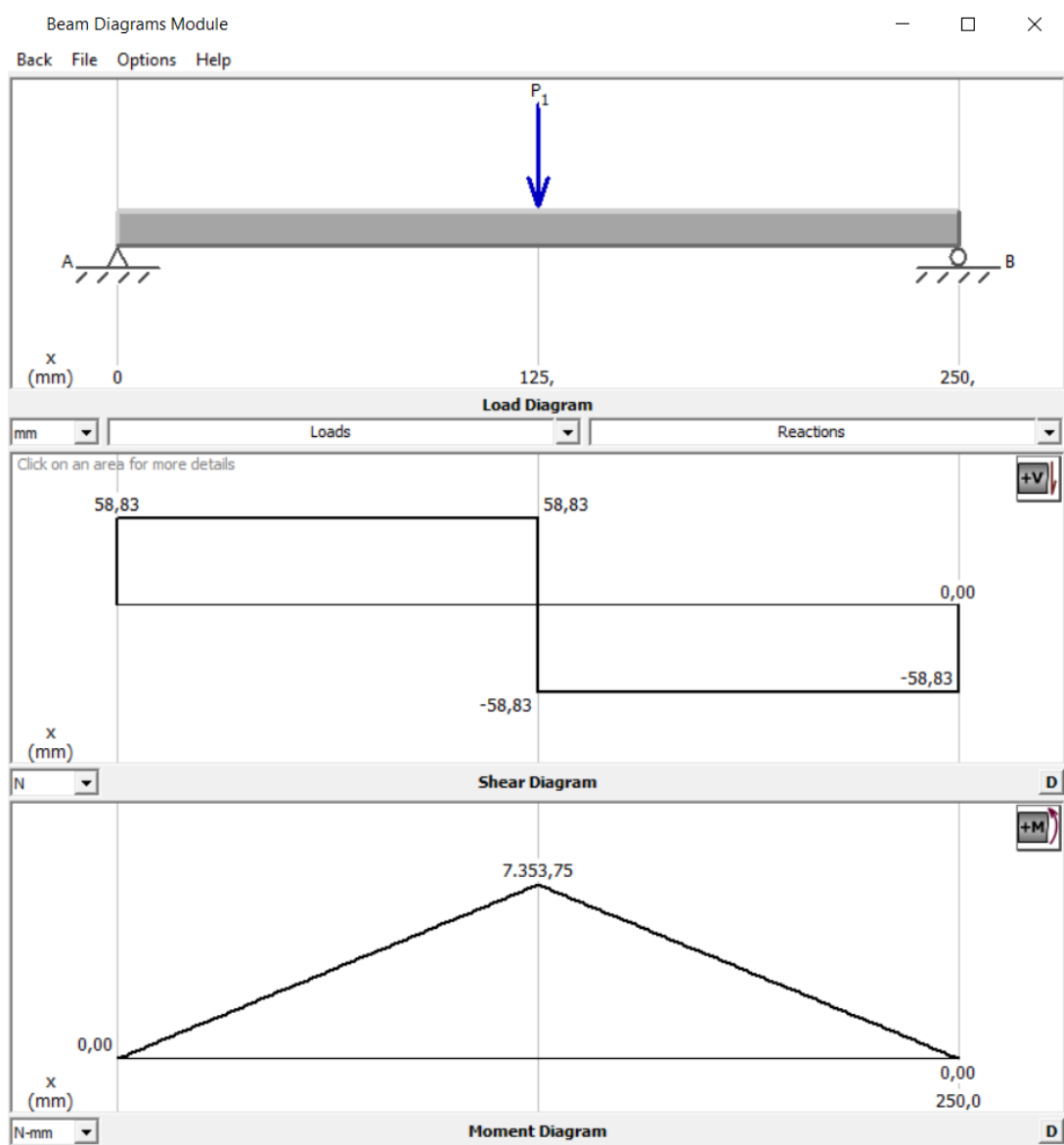
$$M_c = -7.353 \text{ Nm} - 7.353 \text{ Nm}$$

$$M_c = 0$$

### 3.3 Cálculo de fuerza y momento mediante MDSolid.

En la figura 23. Se presenta los resultados obtenidos mediante el software MDSolid, no obstante, los cálculos se realizó de forma analítica, sin embargo se utilizó para visualizar de mejor forma los valores otorgados por la plataforma, se puede apreciar que tanto los resultados analíticos como los del software las respuestas son semejantes, esto brinda una mayor fiabilidad para el diseño de la estructura, con el objetivo de resistir las cargas aplicadas para salvaguardar la seguridad y estabilidad de la estructura.

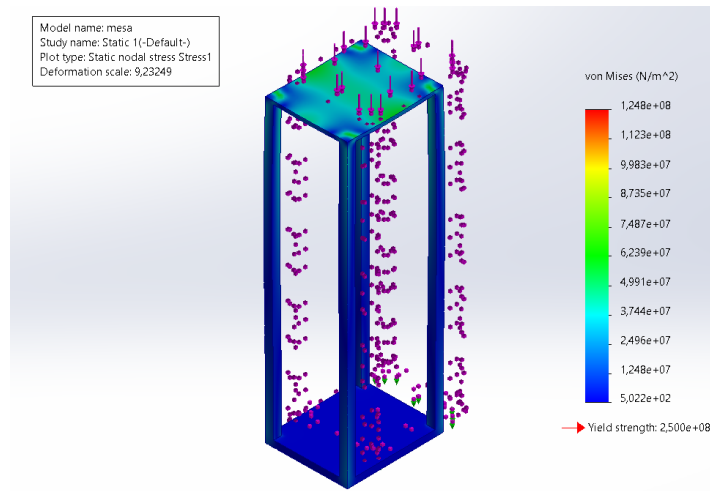




**Figura 23.** Cálculo de fuerza y momentos.

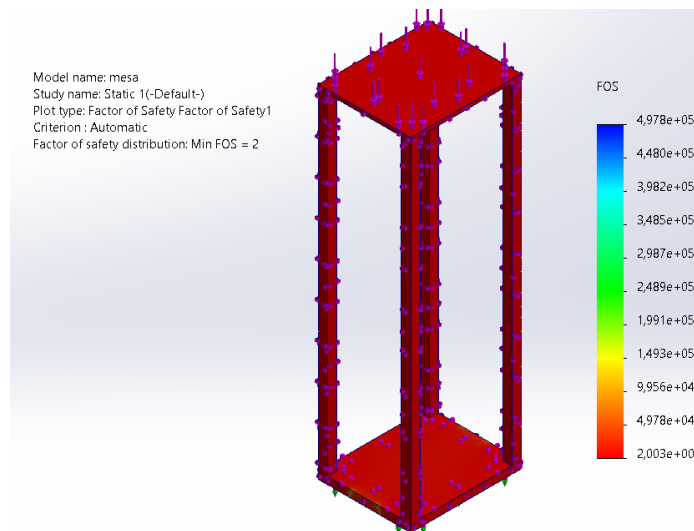
### 3.3.1 Simulación análisis estructural mediante SolidWorks.

En la figura 24. Se presenta los resultados otorgados mediante el software SolidWorks, la simulación tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de la estructura de la mesa mediante las diversas cargas presentes, los resultados obtenidos presentan resistencia y rigidez garantizando la seguridad del diseño, el análisis de deformación permite identificar las áreas críticas que pueden presentar deformaciones excesivas, el buen diseño del banco es esencial para asegurar la seguridad y prevenir los fallos de la estructura .



**Figura 24.** Deformación mediante SolidWorks.

En la figura 25. Se observa los resultados de simulación mediante SolidWorks, el factor de seguridad de la estructura es la relación entre la carga máxima que puede soportar de manera segura juntamente con la carga máxima prevista, los resultados mediante simulación otorgan un factor de seguridad de 2, esto indica que la mesa tiene la capacidad de soportar las cargas expuestas en el dispositivo tecnológico, garantizando un margen adecuado de resistencia y seguridad.



**Figura 25.** Factor de seguridad mediante SolidWorks.

### 3.4 Diseño de riel de inyector

El diseño para montar y ajustar de forma más segura la guía mediante inyectores y fijación de las probetas en el banco se ha diseñado para que tanto el riel como las probetas se puedan fijar de forma rápida y sencilla. Siempre tener en cuenta que la parte de estructura debe soportar la fuerza producida por la presión constante, a la vez que el combustible contiene aditivos y componentes que pueden desgastar el material, se realizará un análisis de esfuerzo para establecer la sección transversal de la estructura [25].

Al diseñar el riel de inyección se debe tener en cuenta la presión de la bomba de combustible para determinar el espesor mínimo que debe tener.

#### 3.4.1 Selección de material de riel

Al realizar un estudio previo, se debe tomar en cuenta que necesariamente debe ser un acero inoxidable esto se debe a la gasolina proporcionado por la bomba conjuntamente a la presión que se presenta, y se genera una fuerza brusca que otros materiales pueden tener deformaciones a lo largo del tiempo, la composición física y química de la gasolina puede deteriorar los materiales frágiles, se realizó las limitaciones en el software Edupack para la selección del material óptimo. Como se observa en la Figura 26.

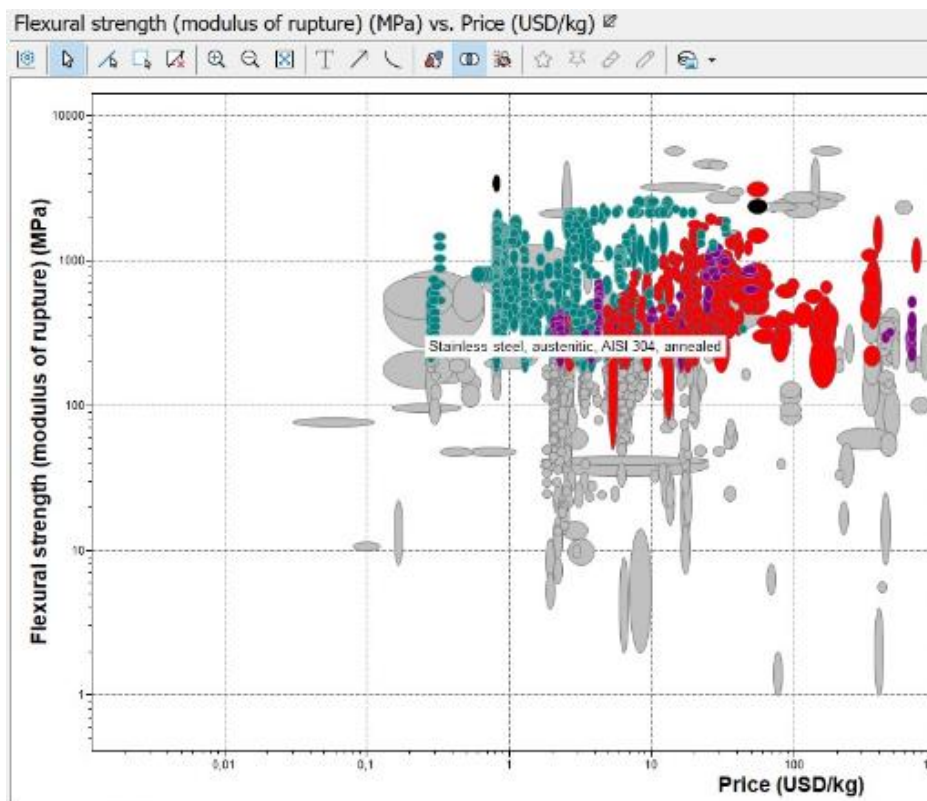


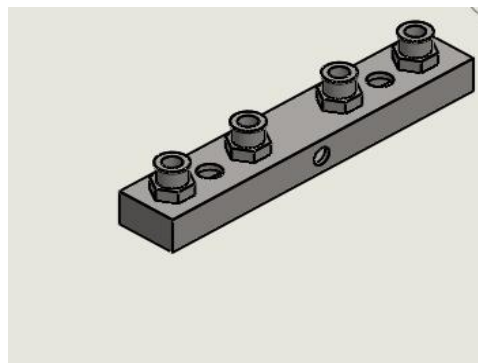
Figura 26. Selección material EduPAck.

Stainless steel, austenitic, AISI 304, annealed		
Ver hoja de datos: All attributes <span>Mostrar/ocultar</span> <span>Encontrar similar</span>		
Metals and alloys > Ferrous > Stainless steels > Austenitic > Wrought > AISI 304 (18/8) >		
General information		
Ansys Name	Stainless steel, 304, annealed	
Designation ⓘ		
Stainless steel, austenitic, AISI 304, annealed, wrought		
Condition	ⓘ	Solution annealed; cold or hot finished
UNS number	ⓘ	S30400
US name	ⓘ	ASTM WP304, ASTM TP304, ASTM S30403, ASTM S30400, ASTM MT304, ASTM F304, AMS 5697, AMS 5567, AMS 5566, AMS 5565, AMS 5564, AMS 5563, ~ASTM S30453
EN name	ⓘ	X5CrNi18-10, LW20
EN number	ⓘ	~1.4948, ~1.4301
ISO name	ⓘ	X5CrNi18-9E, X5CrNi18-9, ~X5CrNi19-9, ~X5CrNi18-8
GB (Chinese) name	ⓘ	ML0Cr18Ni9, 0Cr18Ni9(-R), 0Cr18Ni9(-Q), 0Cr18Ni9(-L), 0Cr18Ni9, ~0Cr19Ni9N(-R), ~0Cr19Ni9N(-Q), ~0Cr19Ni9N(-L), ~0Cr19Ni9N
JIS (Japanese) name	ⓘ	SUS304, SUSF304, SUS304-WSB, SUS304-WSA, SUS304TPY, SUS304TPD, SUS304TP, SUS304TKC, SUS304TKA, SUS304TBS, SUS304TB, SUS304FB, SUS304-CSP, SUS304N1-WPB, SUS304N1-WPA, SUS304 TF, SDP4, ~SUS304L, ~SCS13AA-CF
Tradenames ⓘ		
STAINLESS STEEL GRADE 304, Aalco (UK); 304 STAINLESS STEEL, AK Steel (USA); STAINLESS STEEL 304, Vegas Fastener (USA); 304 STAINLESS STEEL, Electronic Alloys (UK); 304L STAINLESS STEEL, Electronic Alloys (UK); STAINLESS STEEL GRADE 304L, Aalco (UK); 304L STAINLESS STEEL, AK Steel (USA);		

**Figura 27.** Características del material EduPack.

### 3.4.2 Diseño del riel de los inyectores en SolidWorks.

Para el diseño del riel se seleccionó el material AISI304 mediante plancha de acero inoxidable estándar de 1220 x 2440mm y se procedió a realizar los planos.



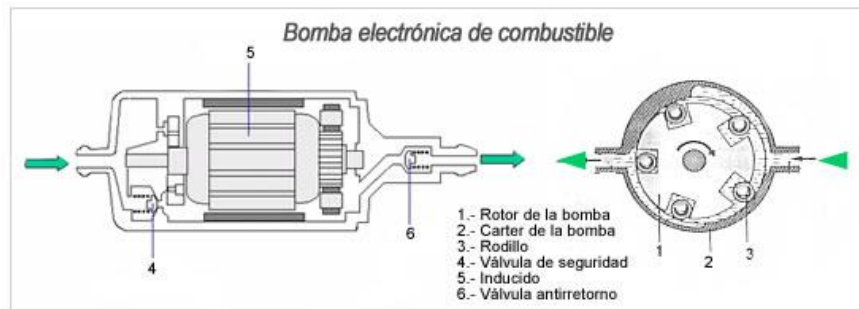
**Figura 28.** Selección material EduPack.

### 3.4.3 Análisis mecánico de fluidos del riel

Se debe realizar un estudio de mecánica de fluido ya que va a estar en constante circulación de la gasolina juntamente con la presión otorgando máxima por la bomba de combustible, por lo cual se debe seleccionar la bomba para el banco de pruebas.

### 3.4.4 Selección de bomba

Si se desea simular el comportamiento de vehículo para comprobar el estado del inyector es necesario utilizar una bomba de cualquier vehículo, el voltaje de funcionamiento de la bomba de gasolina es de 12V y se acciona mediante un relé, las especificaciones técnicas se presentan en la tabla 9. Los componentes de la bomba eléctrica de combustibles son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema de suministro del combustible en el vehículo en la Figura 29. Se aprecian los componentes principales de la bomba eléctrica destacando los necesarios para el buen funcionamiento y durabilidad del combustible.



**Figura 29.** Bomba eléctrica de combustible [21].

<b>Bomba de combustible</b>	
<b>Presión</b>	150psi
<b>Tensión normal</b>	12.0V
<b>Tipo de pico</b>	Listo
<b>Vehículos</b>	4 a 6 cilindros

**Tabla 9.** Características de bomba de combustible

### 3.4.5 Cálculo de fuerza ejercida del combustible

Con la ficha técnica de la bomba de combustible se obtiene como máximo presión a 150psi, con el fin de obtener la fuerza ejercida es necesario emplear la siguiente ecuación

$$F = P \cdot A$$

Donde

$P$  = presión máxima

$F$  = fuerza ejercida

$A$  = Área total

### 3.4.6 Cálculo del área total riel de inyectores

El cálculo total del área es esencial para el buen diseño y análisis del sistema de inyección common rail, para calcular el área total, es necesario conocer la forma y dimensiones del riel el riel posee forma rectangular por lo cual se aplica la siguiente formula:

$$A = B * H$$

Donde

$A$  = Área total

$B$  = base total

$H$  = Altura total

$$A = 198mm * 20mm$$

$$A = 3960 mm^3$$

$$F = P * A$$

*Factor de conversión de Psi a MPa*

$$MPa: \text{Megapascal} \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$Psi: \text{Unidad básica de presión} \left( \frac{lb_f}{pulg^2} \right)$$

*1 Newton: es equivalente a 0.2248 libras – Fuerza*

$$150 \left( \frac{lb_f}{in^2} \right) * \left( \frac{1N}{0.2248 lb_f} \right) * \left( \frac{1in}{25.40 mm} \right)^2 = 1.03MPa$$

$$F = 1.03 \left( \frac{N}{m^2} \right) * 3960mm^3 * \left( \frac{1m^2}{1000mm} \right)^2$$

$$F = 4.078 x 10^{-3} N$$

### 3.4.7 Selección de componentes mecánicos mediante catalogo

Como se aprecia en la figura 30, el regulador de presión garantiza una presión uniforme y constante en las líneas de combustible. Un regulador de presión de inyección de banco de pruebas de gasolina es un dispositivo que se utiliza para controlar la presión de la gasolina suministrada al inyector de combustible.



**Figura 30.** Regulador de presión [22].

### 3.4.8 Manguera de presión

Como se aprecia en la figura 31 y tabla 10, las características técnicas de una manguera de aplicación automotriz cuyas tipologías se describe a continuación: Manguera Flexible ¼ de Aplicación Automotriz [27].



**Figura 31.** Manguera de Presión [23].

Referencia	Valor requerido
<b>Tipo de material</b>	Caucho sintético de alto rendimiento
<b>Presión de trabajo</b>	120 psi
<b>Propiedad mecánica</b>	Es buena absorción de vibración
<b>Diámetro Ø interior</b>	6 mm
<b>Diámetro Ø exterior</b>	8mm

**Tabla 10.** Características de manguera.

### 3.4.9 Nanómetro de presión

Observe la figura 32, es un nanómetro que se depende de rango un deseado de precisión y de la presión de funcionamiento leída por el instrumento. En la tabla 11, se observa las características del instrumento.

- El rango de presión
- la presión de operación



**Figura 32.** Manómetro de presión [24].

<b>Presión</b>	<b>0 y 150 psi</b>
<b>Precisión</b>	De 2,5 psi en la escala graduada y valor mínimo de escala

**Tabla 11.** Características de manómetro.

### 3.5 Probetas

Las probetas de banco de pruebas de inyectores suelen tener una serie de características que las hacen adecuadas para su uso en un entorno de prueba. Como se aprecia en la tabla 12.

<b>Precisión</b>	<b>Las muestras de alta calidad suelen tener un rango de precisión de <math>\pm 0,5\%</math>. (con 2,5 en escala graduada)</b>
<b>Seguridad</b>	Los tubos de ensayo de alta calidad suelen estar diseñados para evitar fugas de combustible.
<b>Material</b>	Cristal frágil transparente con su respectiva escala graduadas
<b>Capacidad de llenado</b>	De 0 ml a 120 ml

**Tabla 12.** Características de probetas.

### 3.6 Diseño de los sistemas del banco de pruebas

Como se aprecia en la figura 33, el banco de pruebas consta de 3 sistemas: un sistema de combustible, un sistema de simulación de impulsos, un sistema de control de potencia.

A continuación, se muestra un diagrama de bloques de los sistemas mencionados en anterior párrafo:



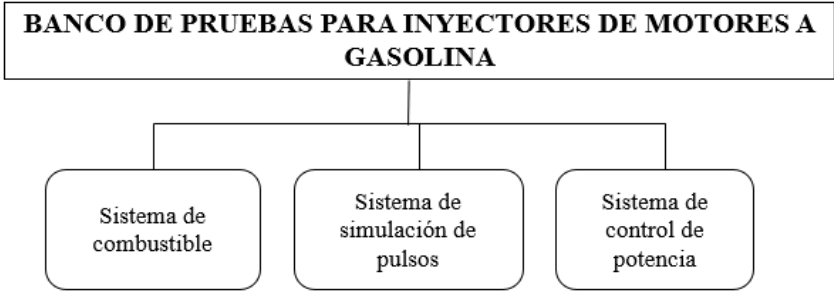


Figura 33. Diagrama de bloque de banco de pruebas.

3.7 Diseño eléctrico

Los inyectores son sometidos a distintos parámetros para la comprobación del mismo, esto se logra con la variación del ciclo de trabajo, o conocido como ancho de pulso es otorgar una señal de voltaje que se envía la información y se va modificando la energía que es enviada a la carga, con esto logramos que los inyectores sean sometidos a distintos ciclos de trabajo con el fin de comprobar su estado actual en tiempo real [25].

En el presente banco de pruebas se puede lograr mediante la placa de estudio arduino presentada en la figura 34, el cual presenta la técnica PWM modulación por ancho de pulso, se refiere a un tipo de señal de voltaje para modificar la cantidad de energía envía a una carga, se debe tomar en cuenta los pines PWM presentes en la placa ya que tiene un símbolo especial con el fin de caracterizarse de los demás [25].

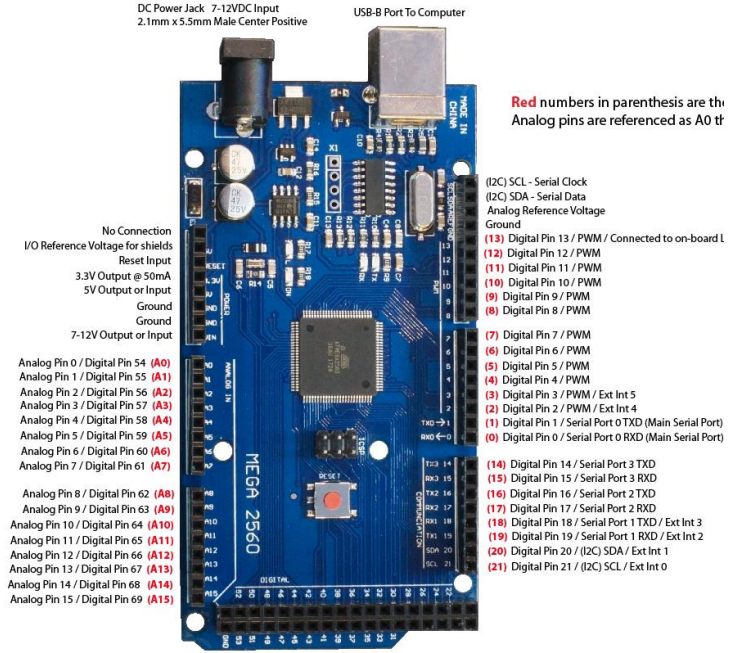
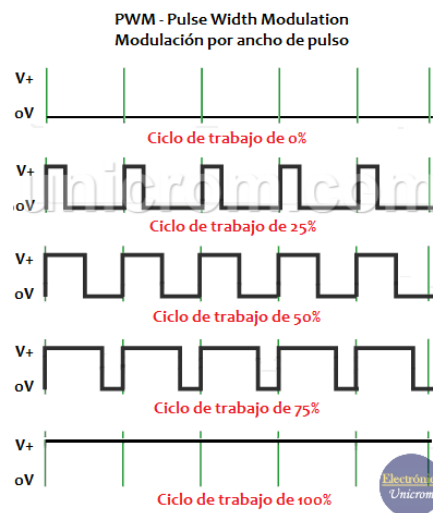


Figura 34. Arduino Mega puertos ANALOG/DIGITAL [25].

Sin embargo, es necesario realizar un estudio de la modulación de ancho de pulso con la finalidad de comprender su funcionamiento y cómo es posible realizar la modificación de energía, el PWM tiene el mismo funcionamiento al comparar con un interruptor, es decir se activa y se desactiva a la vez que regula la cantidad de corriente presente y por ende la potencia entregada a los inyectores [25].

Los inyectores son alimentados con 12 Voltios si se envía toda la corriente todo el tiempo se tendrá como resultados la máxima potencia, pero si en algún momento el voltaje cambia a 0 Voltios no recibe la corriente y por lo tanto no se obtiene potencia en los inyectores. En el sistema PWM el inyector recibe la corriente por un tiempo y después de un tiempo deja de recibirla y esto mediante un ciclo repetitivo [27]. Véase la figura 35.



**Figura 35.** PWM ciclo de trabajo [27] .

### 3.7.1 Cálculos de ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo es la comparación del tiempo de encendido de los inyectores con el tiempo de apagado del inyector, es decir se apaga y se enciende en un tiempo establecido esto significa que tiene un ciclo de trabajo, para determinar el tiempo de trabajo se aplica la siguiente fórmula [28].

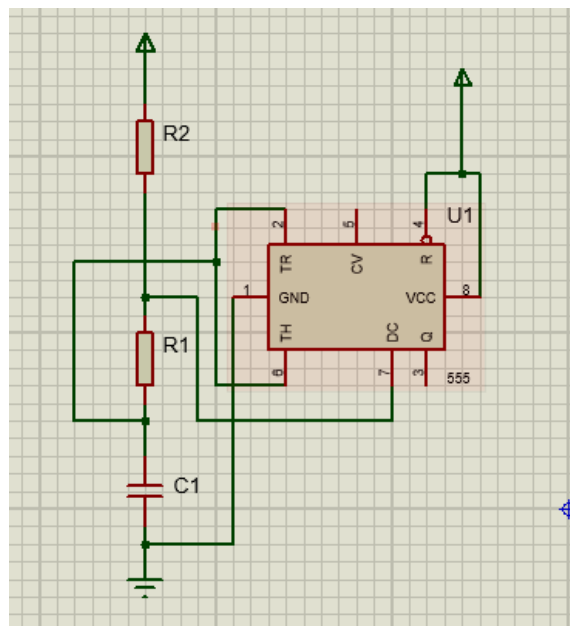
$$T = \text{Periodo de la señal}$$

$$f = \text{frecuencia}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Para realizar PWM sin la necesidad de Arduino se puede ejecutar un circuito integrado con la finalidad de entregar una señal de onda cuadrada, y que el ciclo de trabajo sea igual a 50% ya que es parecido a la señal que recibe el inyector comúnmente en los vehículos [28].

Se presentará un circuito de modulación de pulso, sin la necesidad de utilizar la placa Arduino cabe recalcar que en el banco de pruebas se utilizará las salidas PWM del Arduino no obstante se presentará una opción más económica sin la necesidad de usar una placa Arduino, para el módulo de ancho de pulso se ejecutará un circuito integrado LM555 el cual tiene distintas funciones tales como temporizador, pulsos y oscilaciones, se configurará el circuito para generar oscilación [28]. Como se aprecia el diagrama de la figura 36.



**Figura 36.** Diagrama eléctrico del circuito integrado 555 en modo estable.

Para la determinación de ancho de pulso es necesario obtener los valores de las resistencias y del capacitor, la salida es el pin 3 es recomendable que la salida de señal se dirija a un transistor esto permite la transferencia de la energía presente a los inyectores de manera óptimo.

### 3.7.2 Cálculo de los componentes del módulo de ancho de pulso

El valor de la resistencia R1 y el valor del capacitor C se consideran que las variaciones del pulso están determinadas por cambios en el potenciómetro y el capacitor, si se supone que el valor de la resistencia es constante entonces esto es posible. Que en el cálculo el valor obtenido para el capacitor es un resultado muy grande o pequeño por lo que es más difícil de conseguir en el mercado, por lo tanto, se determinará un valor comercial [29].

Para calcular el valor de resistencia R2 se utilizó la siguiente ecuación:

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Donde:

$f_{osc}$  = Esta expresado en Hertz

$R$  = Esta expresado en Ohmios

$C$  = Esta expresado en Faradios

$T$  = Esta expresado en Milisegundos

Como la resistencia ha sido sustituida por un potenciómetro, se debe tener un rango de valores, los cuales están dados por:

$$f_{m\acute{a}x} = 15,00 \times 10^{-3} [s]$$

Este valor indica el periodo máximo con el que trabajan los inyectores.

$$f_{osc} = 30,00 \times 10^{-3} [s]$$

Y este valor muestra el periodo mínimo con el que trabajan los inyectores.

De la ecuación:

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Se la reescribe de la siguiente forma para obtener el valor de la resistencia cuando el periodo de oscilación sea máximo

$$f_{osc \text{ Max}} = \frac{1}{T_{max}} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_{max})C}$$

De igual manera se procede para el valor de la resistencia cuando el periodo de oscilación sea el mínimo.

$$f_{osc \text{ Mim}} = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_{min})C}$$

Se procede al cálculo de la resistencia cuando el periodo de oscilación es el máximo.

De siguiente ecuación:

$$f_{osc \text{ Max}} = \frac{1}{T_{max}} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_{max})C}$$

Se despeja  $R_{max}$

$$R_{M\acute{a}x} = \frac{1.44xT_{max}}{2C} - R_1$$

Como:

$$T_{M\acute{a}x} = t_{OSC\ M\acute{a}x}$$

Y:

$$T_{M\acute{a}x} = 15,00x10^{-3}[s]$$

Entonces si tiene:

$$R_{M\acute{a}x} = \frac{1.44xT_{max}}{2C} - R_1$$

Por lo tanto, el valor del condensador será:

$$C = 1x10^{-6}[F]$$

El valor de resistencia R1 será:

$$C = 1x10^3[\Omega]$$

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$R_{M\acute{a}x} = \frac{1,44x30x10^{-3}[s]}{2(1x10^{-6}[F])} - 1x10^3[\Omega]$$

$$R_{M\acute{a}x} = 20,6x10^3[\Omega]$$

Se procede de la misma manera para hallar el valor de la resistencia cuando el periodo de oscilación es mínimo.

De la ecuación:

$$f_{osc\ Min} = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_{min})C}$$

Se despeja  $R_{min}$ :

$$R_{min} = \frac{1,44xT_{min}}{2C} - R_1$$

Como:

$$T_{Min} = t_{OSC\ Min}$$

Y:

$$T_{min} = 30,00 \times 10^{-3} [s]$$

Entonces se tiene:

$$R_{min} = \frac{1,44 \times T_{min}}{2C} - R_1$$

El valor condensador es:

$$C = 1 \times 10^{-6} [F]$$

El valor de la resistencia R1 es:

$$R_1 = 1 \times 10^{-6} [\Omega]$$

Entonces tiene:

$$R_{min} = \frac{1,44 \times T_{min}}{2C} - R_1$$

Reemplazo los datos de siguiente ecuación:

$$R_{min} = \frac{1,44 \times 15 \times 10^{-3} [s]}{2(1 \times 10^{-6} [F])} - 1 \times 10^3 [\Omega]$$
$$\mathbf{R_{min} = 9,80 \times 10^3 [\Omega]}$$

Se obtiene los valores necesarios de las resistencias máximas y mínimas esto permite que el integrado LM555 genere pulsos con ciclos de trabajo necesario para comprobar el comportamiento del inyector, juntamente con un potenciómetro que puede variar los períodos de trabajo, con la finalidad de simular el comportamiento del motor de un vehículo.

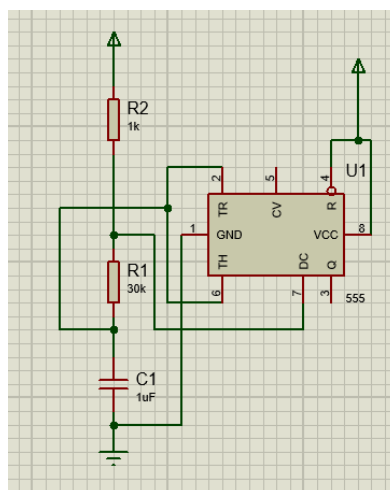
Selección del potenciómetro: Al contar con un potenciómetro en el banco de pruebas otorga varias ventajas que benefician al ajuste de duración del ancho de pulso el cual permite variar

el ciclo de trabajo permitiendo adaptarse a distintas condiciones semejantes al de un motor, el objetivo es encontrar irregularidades en el inyector. Con los cálculos obtenidos de las resistencias tanto máximas como mínimas se debe seleccionar un potenciómetro que cumplan las características necesarias en el sistema. El valor de la Resistencia mínima es  $9,80 \times 10^3 [\Omega]$  y máxima es  $20,6 \times 10^3 [\Omega]$  por lo cual se debe seleccionar un potenciómetro que no sea menor que la resistencia mínima ya que se puede presentar problemas en la calibración el circuito integrador, a la vez que puede perjudicar en el ancho de pulso y proporcionar errores que afecten a la funcionalidad del banco de pruebas.

$$\text{Potenciómetro} = 30,0 \times 10^3 [\Omega]$$

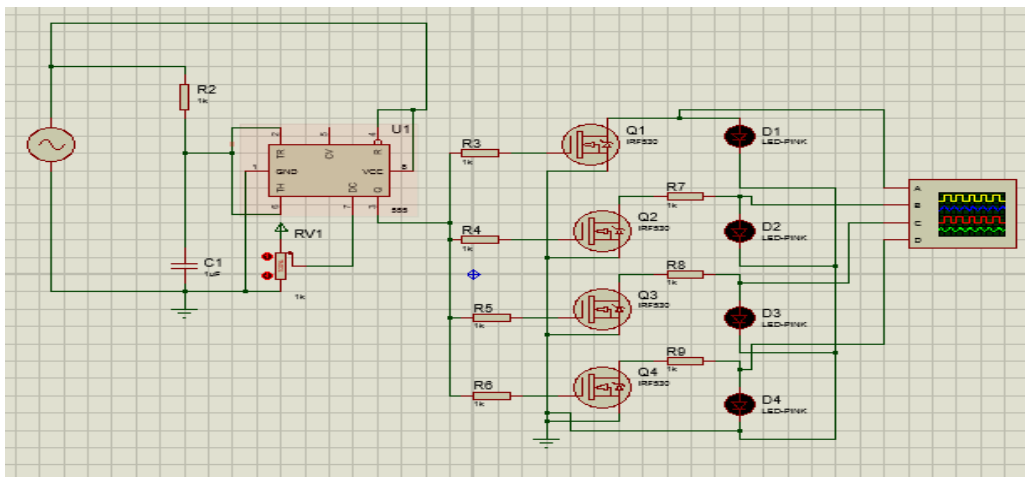
Se selecciona un potenciómetro existente en el mercado de  $30,0 \times 10^3 [\Omega]$  no obstante se resalta que es un potenciómetro con valor de resistencia mayor. Sin embargo, es adecuado para el banco de pruebas, ya que los requerimientos del sistema es necesario implementar frecuencias altas y bajas.

Una vez encontrado los valores necesarios para el módulo LM555 el cual se va a utilizar para generar pulsos, se debe configurar en modo astable es decir que el circuito tiene la finalidad de generar una onda cuadrada sin la necesidad de una señal de entrada externa. En la figura 37 se observa la configuración modo astable para generar oscilaciones lo que significa que se puede ajustar el ancho de pulso de la señal PWM que se genera.



**Figura 37.** Diagrama eléctrico con los valores obtenidos

Una vez configurado el módulo LM555 modo astable es necesario comprobar la oscilación de la onda cuadrada, por lo cual la salida 3 pasara por un transistor para transferir de mejor manera la energía eléctrica presente, en la figura 38. Se aprecia el circuito completo por lo tanto se agregó 4 transistores para los 4 inyectores, a la vez que se agregó el potenciómetro para modificar el ciclo de trabajo y ver el comportamiento de las ondas cuadráticas. Se agregó un osciloscopio para ver el módulo de ancho de pulso y el comportamiento de cada inyector, el potenciómetro modificara el ciclo, permitiendo probar los inyectores de manera óptima.

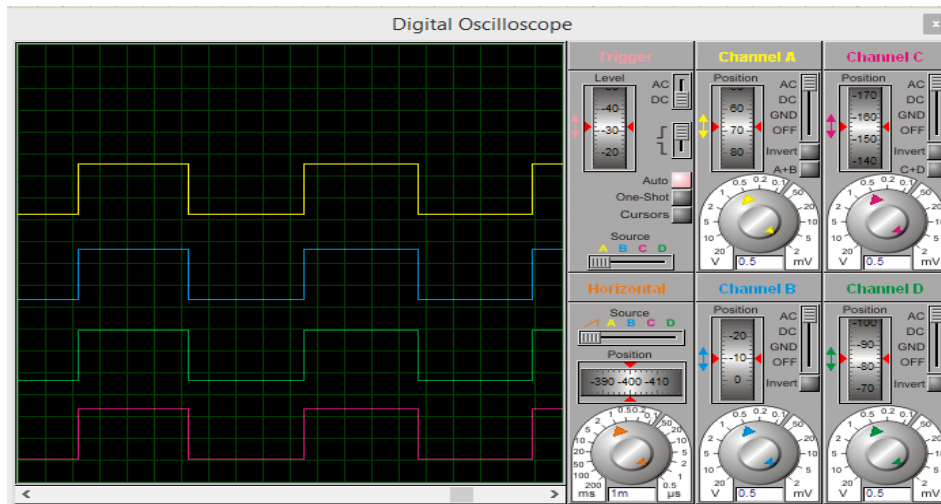


**Figura 38.** [Módulo de ancho de pulso con transistor y osciloscopio]

### 3.7.3 Variación de ciclo de trabajo mediante osciloscopios

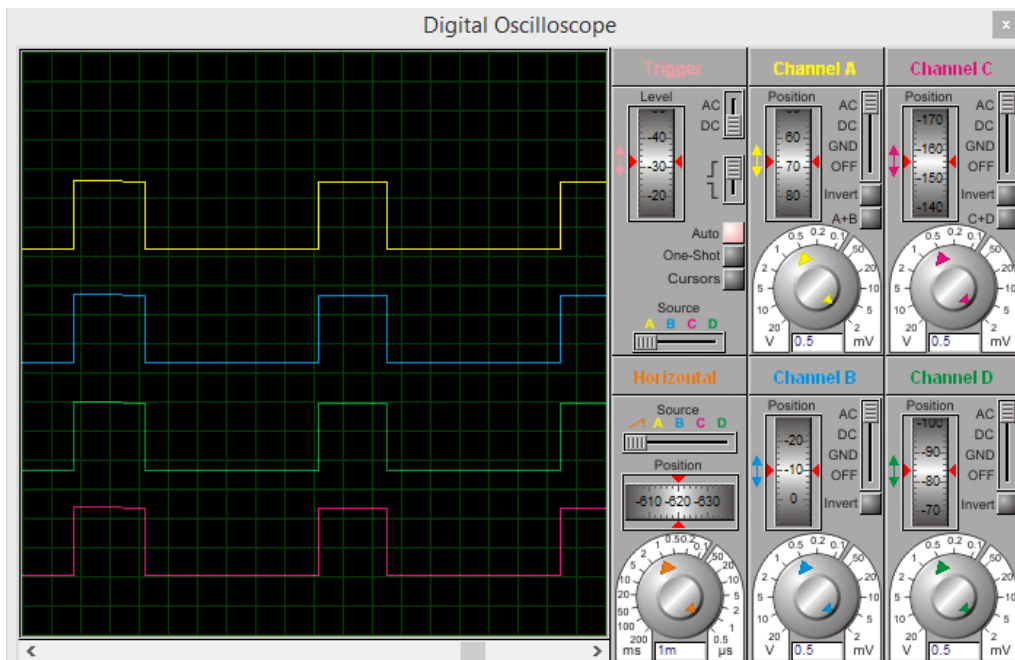
En la figura 39. Se puede observar el comportamiento de los inyectores con un ciclo de trabajo 50%, es decir que los inyectores se activaran y se desactivaran durante el tiempo establecido, mediante el osciloscopio se puede verificar el ancho de pulso sea igual para los 4 inyectores, dando a entender que la señal otorgada al inyector funciona correctamente para la verificación y comprobación sobre el control preciso de la cantidad de combustible inyectada.





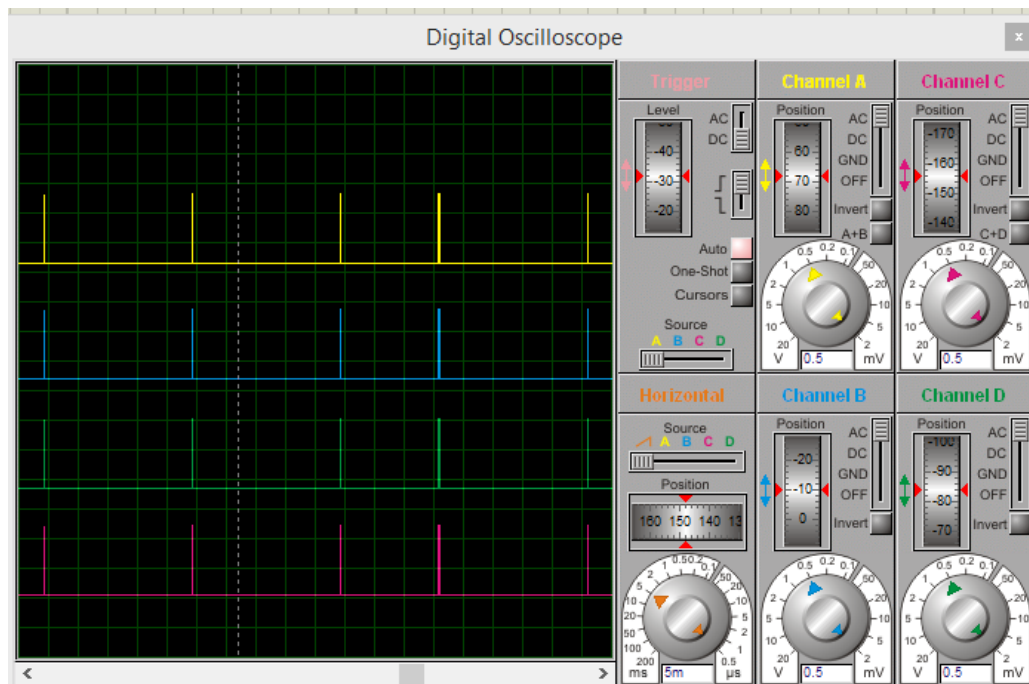
**Figura 39.** Compartición de la señal cuadrática al 50%

En la figura 40. Se aprecia la variación del potenciómetro para modificar el ciclo de trabajo, mediante el osciloscopio se puede apreciar el comportamiento de la señal cuadrática, se observa que el inyector se activa por un periodo corto, mientras tanto el periodo de desactivación es más grande, esto simula a las diversas demandas del motor a distintas condiciones de operación.



**Figura 40.** Compartición de la señal cuadrática de los inyectores con el potenciómetro.

En la figura 41. Se aprecia la variación del potenciómetro al máximo, es decir que el inyector se activa por un corto tiempo y se desactiva de manera inmediata, esto simula el comportamiento del motor de un vehículo cuando se encuentra en aceleración ya que la unidad de control, al aumentar la duración de inyección logra suministrar más combustible al motor, se logró modificar el ancho de pulso con la finalidad que el inyector este expuesta a diversas condiciones y ver el comportamiento que se visualiza las diversas irregularidades que pueden afectar en el rendimiento del motor.



**Figura 41.** Compartición de la señal cuadrática de los inyectores con el potenciómetro al máximo.

### 3.8 Complementos para implementar

Para el diseño electrónico es necesario realizar un estudio previo de los componentes a utilizar, cada uno de los elementos tienen sus características electrónicas fundamentales a la hora de trabajar con dichos componentes, el cual son proporcionadas por los proveedores con las diversas características y especificaciones de sus componentes, se desglosará los diseños eléctricos de cada parte del circuito de banco de pruebas y por último con el diagrama del circuito integrado de todo el proyecto.

En el presente capítulo se describirá todos los componentes eléctricos a utilizar para su correcto diseño electrónico, con la finalidad de explicar el uso principal en el banco de pruebas, juntamente con sus características principales.

### 3.8.1 Puente H

En la figura 42. Se aprecia el dispositivo eléctrico perteneciente a la familia de Arduino el cual permite el control de la corriente en direcciones diferentes, esto es posible por su circuito integrado constando de cuatro transistores, esto permite que el movimiento del motor sea a diferentes direcciones, son activadas por pares esto dependerá de la dirección necesaria del giro del motor [30]. El descrito componente es muy utilizado en el banco de pruebas, permite cambiar los parámetros del funcionamiento del inyector para la comprobación correcto del inyector.

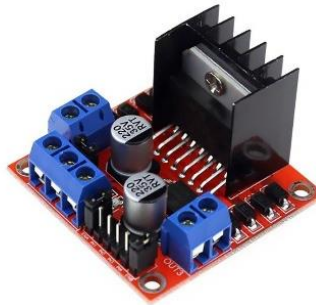


Figura 42. Componte puente H [30].

### 3.8.2 Sensor Ultrasónico

El siguiente componente electrónico mide la distancia, aprecia en la figura 43, esto es posible mediante ondas ultrasónicas producidas mediante el cabezal principal el cual dicha onda es regresada mediante reflejo desde el objeto, dicho sensor es encargado de medir la distancia mediante un sistema de comunicación básica, emite un mensaje a un receptor y regresa con una respuesta [31]. El siguiente componente nos otorgara la información de la distancia del líquido entregado por los inyectores y medir la distancia de cada una de las probetas y todas deben tener el mismo nivel de líquido, si por alguna razón un sensor me mide un valor extremadamente diferente a los otros, es necesario revisar el inyector.

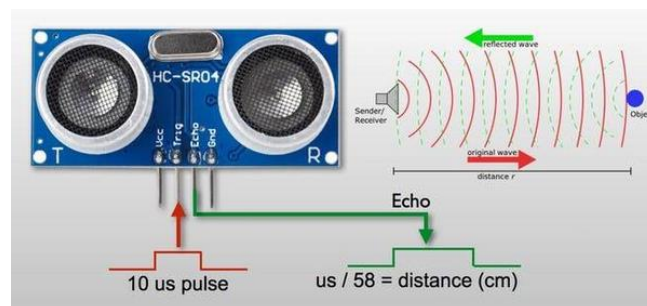
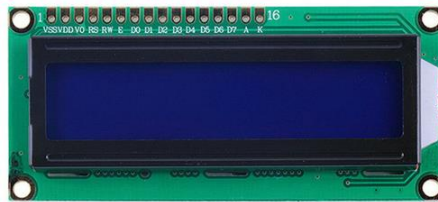


Figura 43. Sensor ultrasónico [31].

### 3.8.3 Modulo LCD

En la figura 44. Es un elemento conocido como pantalla de cristal líquido (LCD) está compuesto por distintos números de pixeles en color al frente de una fuente de luz, el lcd es pequeña y delgada, los cristales líquidos contienen dos capas de vidrio, cada una de ellas contiene un cobertor para formar un patrón de líneas conductoras [32]. El LCD proporciona la información de los RPM, el ancho de pulso, a la vez que se apreciara el nivel de líquido de cada una de las probetas.



**Figura 44.** LCD de arduino [32].

### 3.8.4 Encendido y Apagado

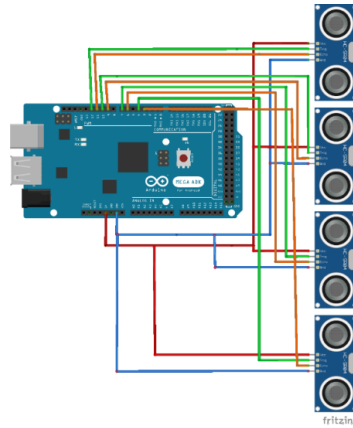
Para el encendido del banco de pruebas se debe activar un interruptor que suministra energía a todo el dispositivo, para iniciar el proceso de comprobación de inyectores, es necesario presionar el botón STAR para iniciar con las pruebas de funcionamiento, si se desea parar el proceso se encuentra un botón STOP que al accionar se detendrá de forma inmediata el banco de pruebas.

### 3.8.5 Unidad de control

En el siguiente equipo se presenta distintos circuitos para su funcionamiento total del banco de pruebas, cuenta con 2 fuentes, la primera es la alimentación principal, la segunda es encargada de la potencia, se presenta un controlador encargado de la comunicación de todo el proyecto.

### 3.9 Diagrama de conexión del sensor ultrasónico

En la figura 45 y 46 se aprecia los diagramas de conexión de cada uno de los componentes necesarios para el buen funcionamiento del banco de pruebas, el sensor ultrasónico cederá la información del nivel de líquido otorgado por los inyectores, si los inyectores se encuentran en buen estado, deberían otorgar la misma cantidad de gasolina al vehículo, es decir el sensor ultrasónico colocado en las 4 probetas deben leer el mismo nivel de líquido, si surge una medida con margen de error significativo se deberá revisar el sensor.



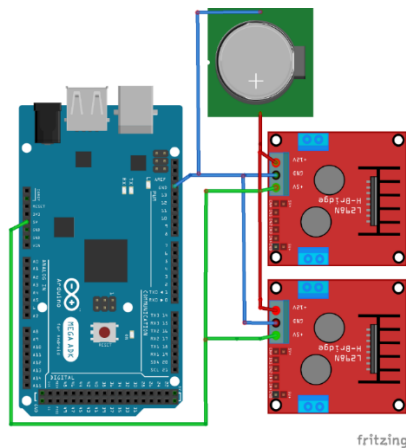
**Figura 45.** [Diagrama conexión de sensor ultrasónico]

Donde:

- Vcc se conecta al pin 5V o 3V del microcontrolador
- GND a tierra del microcontrolador
- Tring en el pin 12,10,7,4
- Echo en el pin 11,9,6,3

### 3.9.1 Diagrama Puente H

En la figura 46. Se observa el diagrama de conexión del L298N al Arduino, los terminales OUT1, OUT2, OUT3, OUT4, son salidas proporcionadas por el circuito y son conectados directamente a los inyectores, mientras que las terminales IN1, IN2, IN3, IN4 son pines de entras que son conectadas a la placa, en la parte de suministro de energía se debe emplear una alimentación de 6 a 12V DC.



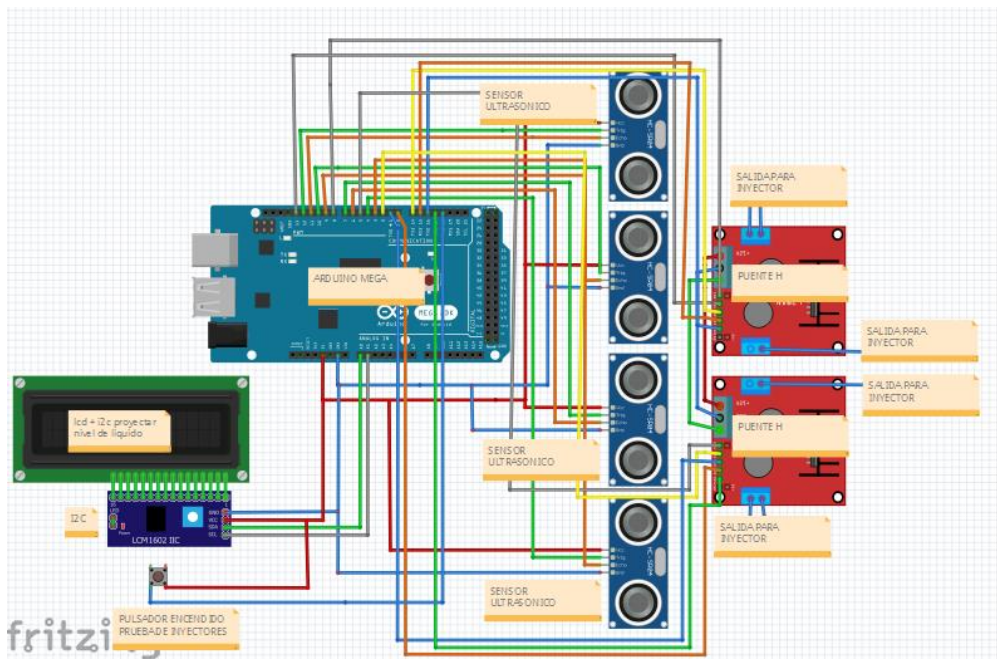
**Figura 46.** Diagrama de alimentación puente H.

Donde:

- 6V a 12V en pin Voltaje
- se conectará a un pin digital del microcontrolador
- Vcc se conectará a la alimentación del Arduino
- GND a tierra del microcontrolador
- Out a los 4 inyectores

### 3.9.2 Diseño completo del banco de pruebas

Se utilizó para el diseño eléctrico software conocidos tales como Arduino y Fritzing para la programación y simulación de todos los componentes presentes de manera electrónica del banco de pruebas, se presenta el siguiente diagrama, cada uno de los componentes completos del banco de prueba, ver Figura 47.



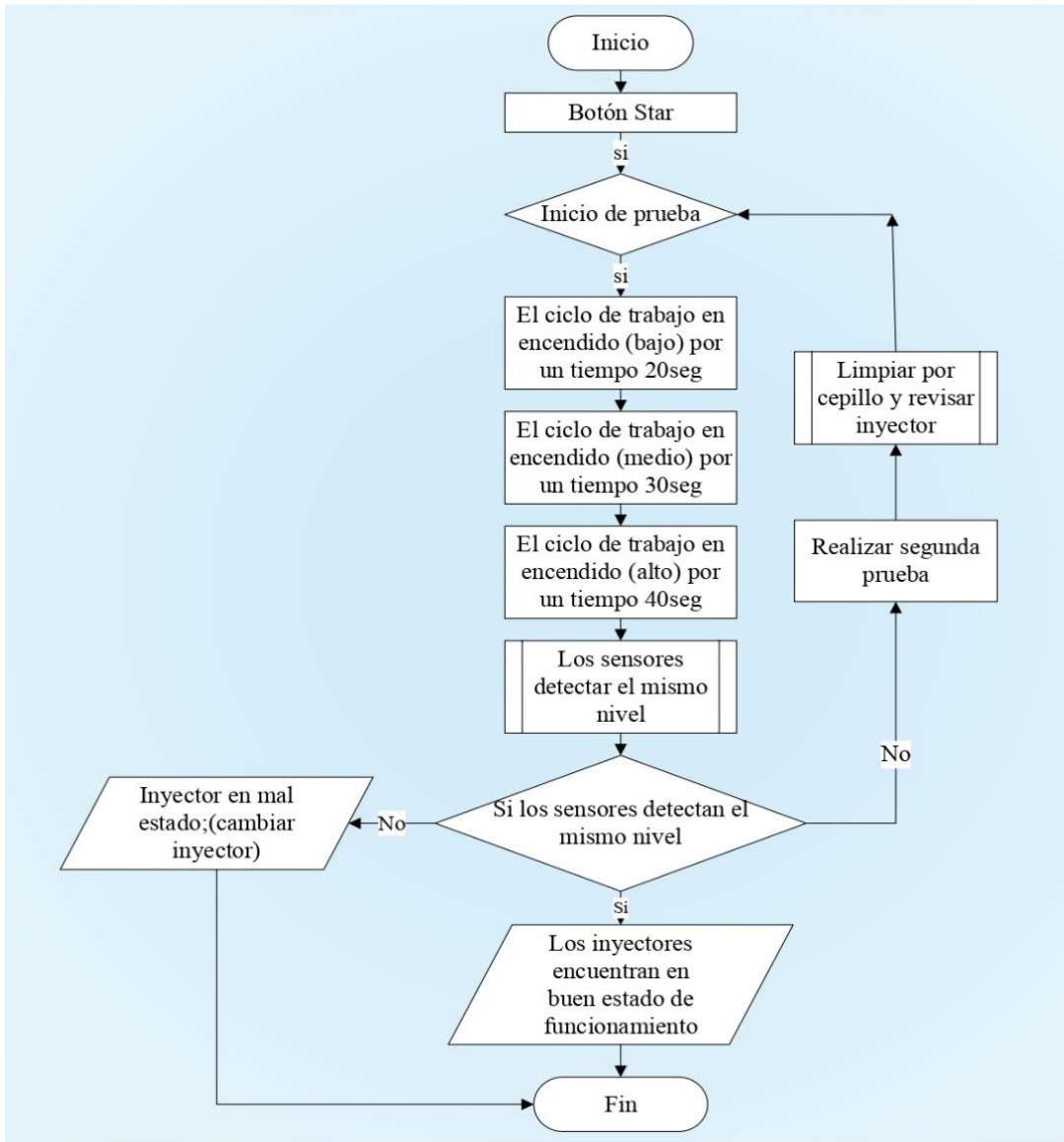
**Figura 47.** Diagrama Completo del banco de pruebas.

El banco de pruebas de inyectores cuenta con un sistema de visualización mediante LCD para verificar el nivel de gasolina que proporciona el inyector, el funcionamiento del Arduino funciona a 5V DC mientras, la fuente externa para el inyector y la bomba funciona a 12V DC, comience con la programación de ciclo de trabajo bajo, es decir, la gasolina se alimenta a través del inyector y se abrirá y cerrará lentamente; si se aumenta el potenciómetro, el

ancho del pulso se reducirá, lo que hará que el inyector deje entrar gasolina líquida. De manera controlada, con el ancho de pulso máximo, el inyector se abrirá y cerrará en un ciclo de trabajo muy corto, provocando así la entrada de gasolina al poco tiempo de completar la inyección de gasolina. El sensor medirá y proporcionará información a través de la pantalla LCD.

### **3.9.3 Diagrama de flujo del banco de pruebas.**

En la figura 48. Se aprecia el diagrama de flujo realizado en el software Microsoft Visio con la finalidad de comprender el proceso completo del banco pruebas para inyectores, para la activación completa del banco de pruebas es necesario pulsar el interruptor para conceder la energía al dispositivo, para iniciar la comprobación y prueba de inyectores es necesario pulsar el botón STAR, una vez presionado el botón se inicia con la comprobación el cual posee 3 fases y cada uno son activados por un pulsador, la fase 1 inicia una vez abordado el programa inicia con un ciclo de trabajo bajo, es decir que el inyector permite el ingreso del líquido dentro de un tiempo de 20s, al presionar un pulsador se activa la fase 2 el cual es un ciclo de trabajo 50%, es decir el sistema de activación y desactiva generando que el inyector realice el comportamiento de inyección al mismo tiempo permitiendo que el líquido ingrese de manera constante, por ultimo al presionar el pulsador se activa la fase 3, simulando la condiciones del motor a alta potencia, es decir que el inyector se activara y se desactivara en corto tiempo para visualizar de mejor manera el comportamiento de los 4 inyectores, una vez finalizado las 3 fases los inyectores se desactivan , permitiendo que el sensor ultrasónico empiece la lectura del volumen de las probetas, todo los datos son reflejados en el LCD, si los inyectores contienen la misma cantidad se encuentran en perfecto estado, en caso si un inyector o varios inyectores dan un margen de error considerable en el sistema es necesario la revisión, se recomienda una limpieza por supuestas perturbaciones que afecten al inyector, se realiza una segunda prueba de funcionamiento a distintos ciclos de trabajo, si se sigue presentando el mismo error es necesario un cambio de inyectores, para mejorar el sistema de combustión del vehículo.



**Figura 48.** Diagrama de flujo del banco de pruebas.



## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentará los pasos que se realizó para el montaje y realizar el respectivo análisis de funcionamiento del banco de prueba, los resultados obtenidos de todo el proceso de construcción y si está apto para un funcionamiento óptimo mediante la programación de Arduino.

#### 4.1 Etapa de construcción del banco de pruebas

Después de largos pasos de diseño, se logra realizar de forma correcta el ensamble del banco de pruebas para inyectores, una vez finalizado el ensamble mecánico se realizó la conexión parte eléctrica y de control el dispositivo final está listo para realizar pruebas de funcionamiento y observar el comportamiento de los distintos ciclos de trabajo y si cumplen con el objetivo principal. Aprecia en la figura 49.



**Figura 49.** Proceso de ensamble de banco de pruebas.

Se aprecia la estructura completa del banco de pruebas en la figura 50. Se encuentra listo tanto parte, mecánica, de potencia, electrónica y de control para realizar distintas pruebas de funcionamiento



**Figura 50.** Estructura completa del banco de pruebas.

## 4.2 Inicio de pruebas ciclo de trabajo bajo

Para las pruebas es necesario tener a disposición los inyectores del vehículo, y se conecta a los respectivos conectores establecidos para los inyectores el cual proporciona la energía y a la vez el PWM, se procede a realizar la conexión a los inyectores figura 51.



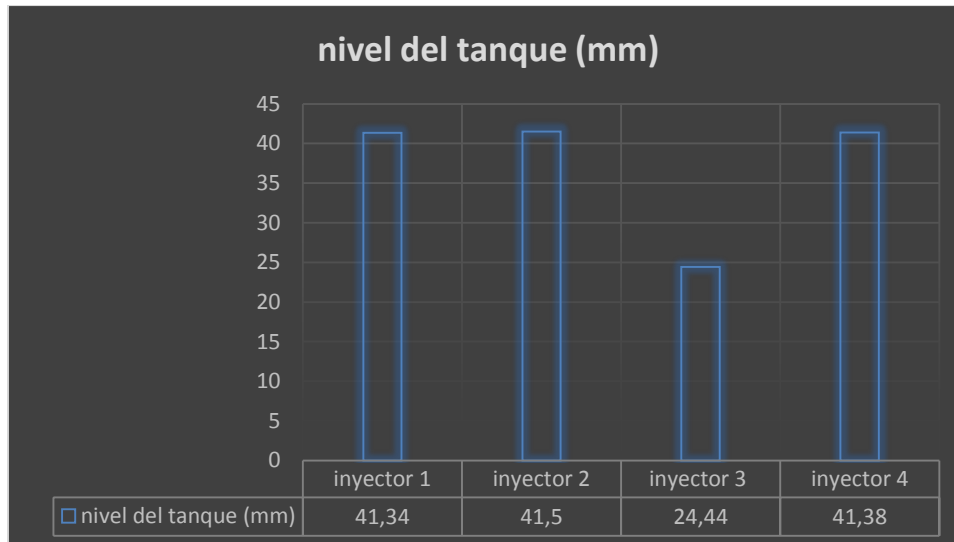
**Figura 51.** Conexión de los inyectores.

Una vez elaborada la conexión se efectúa el ciclo de trabajo en estado bajo, y los inyectores empiezan a abrirse y cerrarse, para el ingreso del líquido, se utilizó un refrigerante para observar de mejor manera el comportamiento, los resultados se aprecian en la figura 52. Cabe recalcar que se utilizó 3 inyectores en perfecto estado y uno defectuoso para observar si es posible apreciar la detección del inyector fallido.



**Figura 52.** Pruebas de inyectores ciclo bajos

Se observa en la figura 53. Los resultados del líquido de los inyectores en el ciclo bajo son correcto, siendo el inyector 3 presentan menos líquido que los demás, dando a informar que el inyector necesita una revisada inmediata con el fin de no afectar al vehículo con el tiempo.



**Figura 53.** Resultados de los inyectores mediante nivel de gasolina, ciclo bajo.

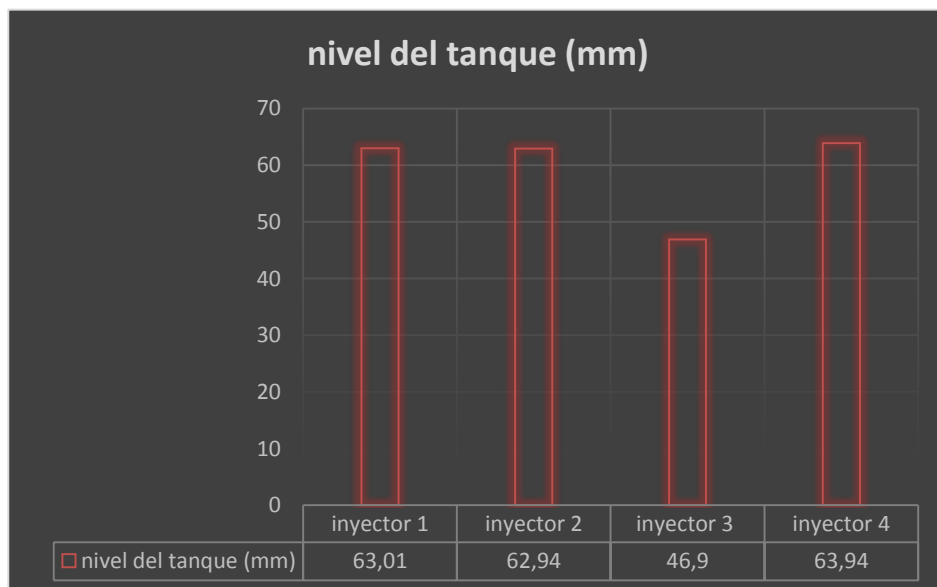
### 4.3 Inicio de prueba ciclo de trabajo medio y alto

Para la fase 2 es necesario implementar un ciclo de trabajo medio y rápido, es decir que los inyectores se abren y cierran más rápido permitiendo de esta forma asemejarse al comportamiento a velocidades medias, para ver el comportamiento del ingreso de la gasolina, se aprecian en la figura 54.



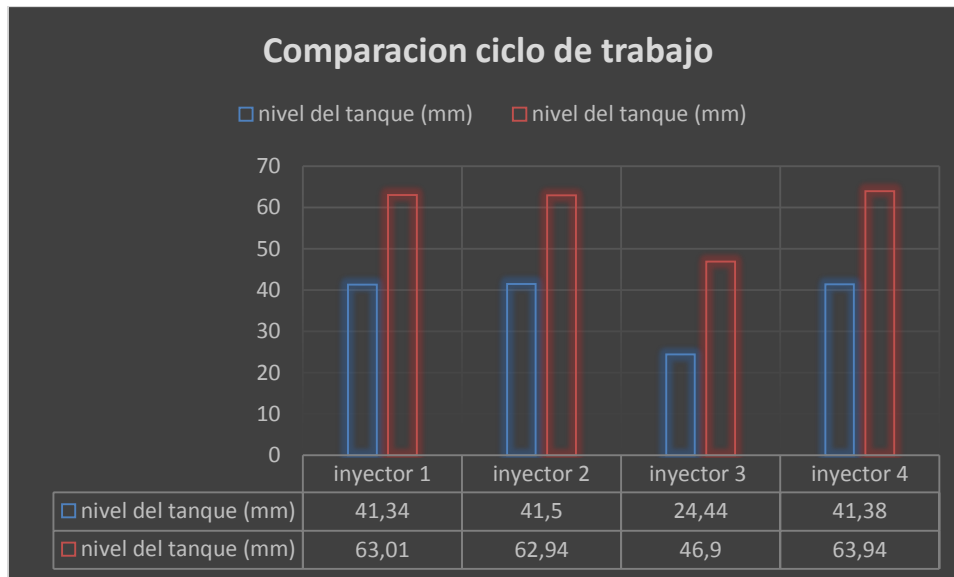
**Figura 54.** Pruebas de inyectores ciclo medio y alto.

A diferencia del ciclo bajo, el líquido ingresa de manera más rápida y con la finalidad de simular el comportamiento del vehículo cuando se encuentra en movimiento a velocidades medianas y altas, con comparación al ciclo de trabajo bajo el inyector 3 a pesar de ingresar más líquido a las probetas no llega al mismo nivel que los demás, teniendo un margen de error importante que puede afectar en el funcionamiento del motor a lo largo del tiempo. Véase la figura 55 de las pruebas en del ciclo medio y alto.



**Figura 55.** Pruebas de inyectores ciclo medio y alto.

Como resultado el banco de pruebas detecta la falla del inyector a los distintos niveles y que se encuentra funcionando de manera óptima, cabe recalcar que se debe realizar distintas pruebas con diferentes tipos de inyectores para encontrar perturbaciones o fallas en el sistema, sin embargo, el proyecto se encuentra en mejora constante en un lugar de trabajo para determinar fallas a distintos inyectores y se espera mejorar a lo largo del tiempo.



**Figura 56.** Comparación de inyectores ciclo bajo y medio –alto.

#### **4.4 Manuales de operación del banco de pruebas.**

##### **4.4.1 Propósito del manual.**

El propósito fundamental del banco de pruebas es proporcionar la información detallada y clara sobre la instalación, operación, configuración del equipo para su correcto funcionamiento, el presente manual tiene como objetivo principal dar una guía a los técnicos y operadores encargados en el proceso de comprobación de inyectores para su uso seguro de manera eficiente y efectiva.

##### **4.4.2 Especificaciones Técnicas.**

En la tabla 13. Se presenta características específicas técnicas con la finalidad de proporcionar detalles que los usuarios puedan comprender las capacidades y limitaciones del banco de pruebas, lo que permitió utilizar de manera efectiva garantizando el rendimiento óptimo.

<b>Características técnicas comprobador de inyectores 4 probetas</b>	
<b>Capacidad del tanque</b>	200ml
<b>capacidad del cilindro de medición</b>	140ml
<b>Rango de velocidad</b>	0 - 1000 rpm
<b>Tiempo de inyección</b>	0-9900, 80ms
<b>Pulso PWM</b>	0-15ms, 0.1ms
<b>Presión del sistema</b>	0 - 0.6Mpa
<b>Tiempo de inyección</b>	0 - 10 minutos
<b>Suministro de energía</b>	AC 120V $\pm$ 15% 50Hz

**Tabla 13.** Características técnicas del banco de pruebas.

#### **4.4.3 Requisitos de instalación.**

Los requisitos de instalación son fundamental para asegurar el banco de pruebas funcione correctamente y cumplan con las especificaciones técnicas proporcionadas, se incluye pautas detalladas sobre el entorno y recursos necesarios para la instalación adecuada.

- **Espacio Físico.**

El área de instalación debe contar con un espacio libre de fácil movilidad para garantizar el acceso seguro y facilitar el mantenimiento del banco de pruebas.

- **Condiciones ambientales.**

El rango de temperatura de operación del equipo tecnológico recomendado aproximadamente hasta los 50 °C, a temperaturas altas puede afectar en las mediciones del sensor otorgando valores no reales del sistema.

Los niveles aceptables de la humedad relativa son del 50% y presión normal dentro del límite de trabajo

- **Requisitos de alimentación de combustible.**

El tipo de combustible a utilizar es la gasolina, recomendable llenar el tanque y visualizar el nivel periódicamente, la presión requerida para el suministro de combustible es de 6psi, el sistema de prueba de inyectores está diseñado para presión constante ejercida por la bomba de combustión, en caso de daño o reparación seleccionar el mismo o semejante al tipo de bomba.

#### 4.4.4 Seguridad durante uso del dispositivo tecnológico.

##### **ADVERTENCIA:**

- No modifique, rompa, perjudique el cable de alimentación. No coloque ningún elemento pesado o cualquier componente líquido encima del cable. Nunca desconecte de la corriente durante el encendido del equipo, puede provocar daños graves en el circuito. No doblar el cable muy exagerado durante la conexión. Si no se acata las indicaciones, puede ocasionar incendio o una descarga eléctrica significativas en el dispositivo tecnológico.
- Si el cable de alimentación se encuentra con daños considerables o se encuentra deshilachados, se debe desconectar del enchufe de alimentación tirando de él, no tocar las partes afectadas del cable puede causar heridas significativas.
- Para evitar descargas eléctricas o daños al equipo es necesario desconectar del enchufe y asegurar que el interruptor de alimentación se encuentre en off.
- Mantener el equipo tecnológico alejado de cualquier líquido si se presenta cualquiera derrame de cualquier sustancia líquida, inmediatamente desconectar el enchufe y realizar un mantenimiento general del banco,
- Conecte el cable de alimentación directo a una toma de la pared. No utilice nunca un cable de acople, puede perjudicar el funcionamiento del dispositivo electrónico.

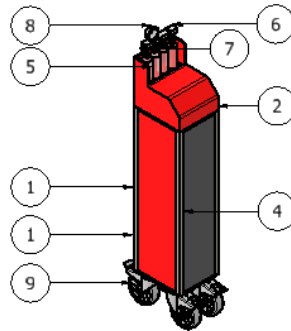
##### **PRECAUCIÓN:**

- Después del traslado de la maquina asegure las ruedas con la sujeción fija, de lo contrario, puede moverse y provocar daños.
- Si se utiliza el equipo en un ambiente cerrado, se recomienda verificar la temperatura del ambiente y comprobar si se encuentra ventilado.
- No exponga el banco a condiciones de humedad altas o polvo, puede perjudicar la vida útil del equipo, hasta producirse descargas eléctricas o incendios.
- Proteja al equipo de condiciones meteorológicas como la lluvia.
- Colocar el equipo tecnológico en una superficie estable, nunca instalar en un sitio inestable o inclinado puede producir daños significativos en el entorno.
- Al desconectar el equipo, siempre tire del enchufe, nunca del cable de alimentación.
- Mantenga la gasolina fuera del alcance de los niños.
- Si la gasolina entra en contacto con sus ojos, láveselos de manera inmediata con agua. Si presenta un síntoma anormal acuda a un médico.

- Si la gasolina entra en contacto con la piel, lave la zona con abundante agua y jabón.

#### 4.4.5 Guía de componentes.

En la figura 57. Se observa el diseño del banco general, representado gráficamente con información específica de cada uno de los componentes presentado en la tabla 14. Se encuentran enumerados con el fin de identificar las partes del ensamble completo.



**Figura 57.** Guía de componentes de la estructura general.

En la tabla 14. Se presentan los elementos principales del banco de pruebas, en caso de danos o irregularidades se debe prestar mayor atención a los numerales en la tabla, son encargados en el buen funcionamiento del equipo, si se presenta fallas o perturbaciones, se recomienda realizar un mantenimiento correctivo.

ELEMENTO	CANTIDAD	N. DE PIEZA
1	1	Estructura de Mesa
2	1	Estructua del banco
3	2	Placas Internas
4	2	Perfil de mesa
5	4	Probetas Plásticas
6	1	Riel de inyectores
7	4	Inyectores Ensamble
8	1	Manómetro Gauge CF1P-210
9	4	Ruedas con freno

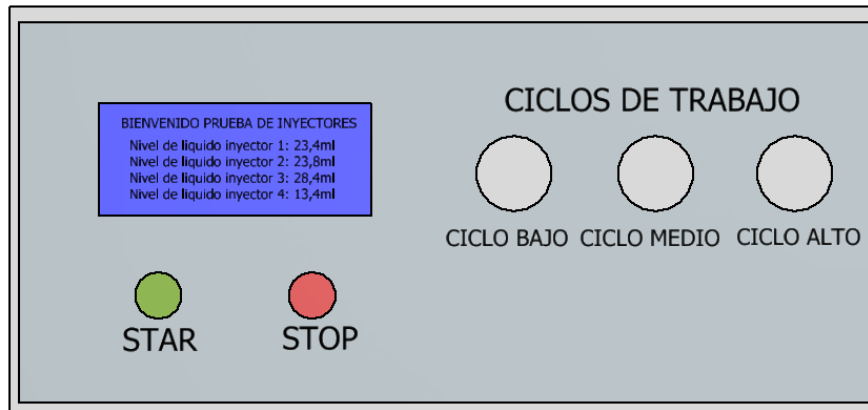
**Tabla 14.** Componentes existentes en el banco.

#### 4.4.6 Panel de mando.

En la figura 58. Se observa el panel principal encargado del control del equipo, el panel de control cuenta con un LCD, pulsadores star, stop para iniciar o desactivar el proceso de comprobación de inyectores, para accionar los ciclos de trabajo necesariamente se debe



pulsar el star, iniciará todo el programa.



**Figura 58.** Panel de mando del banco de pruebas.

- Botón (Star): Pulse para iniciar el LCD juntamente con el inicio del equipo tecnológico en general.
- Botón (Ciclo bajo): Pulse para iniciar el proceso de verificación y comprobación de los inyectores en el estado bajo, se indicará los valores de los sensores mediante el LCD
- Botón (Ciclo medio): Pulse para iniciar el proceso de apertura y cierre en un ciclo constante de ingreso de líquido mediante 30s, los valores del sensor son proporcionados por el LCD.
- Botón (Ciclo Alto): Pulse para iniciar la apertura y cierre de los inyectores de manera rápida a máxima capacidad para verificar el comportamiento del inyector durante el tiempo que sea necesario, el nivel del líquido es reflejados por el LCD.
- Botón (Stop): Pulse para detener el programa de manera inmediata, en cualquier momento incluso si se encuentra en medio proceso.

#### **4.4.7 Encendido del equipo.**

1. Percatarse que el cable de alimentación está correctamente conectado a la toma de corriente.
2. Dirigirse al interrupto que se encuentra en la parte izquierda del banco, se encuentra un interruptor principal, encargado de suministrar la energía a todo el dispositivo

tecnológico.

3. Presionar el interruptor en estado ON



Nota: Si no enciende el banco al accionar el interruptor, compruebe si se encuentra conectado correctamente al tomacorriente, si no es así, conéctelo.

#### **4.4.8 Apagado del dispositivo electrónico.**

Importante: Asegurar de presionar stop para que finalice el o los ciclos de trabajos ejecutando en el proceso, antes de desconectar el cable de alimentación, puede afectar al controlador.

1. Accione el interruptor a estado OFF para impedir la alimentación del banco de pruebas.
2. Si es necesario es seguro desconectar el cable del tomacorriente.

#### **4.5 Mantenimiento del equipo.**

El mantenimiento un banco de pruebas de inyectores de gasolina es muy fundamental para garantizar un trabajo óptimo y eficiente al calibrar y probar estos dispositivos principales del sistema de inyección de gasolina en motores. A continuación, especificamos una serie de pasos y recomendaciones para ejecutar un correcto mantenimiento del banco.

##### **4.5.1 Mantenimiento preventivo.**

Se debe realizar un mantenimiento preventivo repetido. Este mantenimiento debe contener las siguientes tareas:

### **La limpieza regular.**

El banco de pruebas y los inyectores de gasolina se debe limpiar diariamente para excluir cualquier tipo de suciedad, depósitos de combustible que se puedan afectar la puntualidad de la prueba. Se recomienda usar productos de limpieza garantizado para la máquina.

- Limpiar el exterior del banco de prueba con un paño húmedo y un producto de limpieza no abrasivo.
- Limpiar el interior del tanque de combustible y la bomba de combustible con un solvente adecuado para gasolina.

### **Calibración.**

- Comprobar la calibración del caudalímetro y el sensor ultrasónico para el correcto funcionamiento.
- Ajustar la calibración del banco de pruebas si es necesario de manera inmediato.

### **Revisión general.**

- Revisar las conexiones eléctricas y tanto neumáticas del banco de prueba para averiguar posibles fugas o daños que se presenta.
- Reemplazar las mangueras y terminales si están corroídos o dañados.
- Lubricar las partes móviles del banco de prueba con un lubricante apropiado.

#### **4.5.2 Mantenimiento correctivo.**

En caso de que el banco de pruebas se presenta una falla o una dificultad operativa, se requiere mantenimiento correctivo. A continuación, se presenta siguientes tareas para mantenimiento:

#### **Reparación**

- Reemplazar las partes del banco de pruebas que estén dañadas o averiadas.
- Concertar y ajustar los parámetros de funcionamiento del banco de prueba si en caso sea necesario.

#### **Calibración**

- Recalibrar y revisar el programa del banco de pruebas después de ejecutar cualquier tipo de reparación o ajuste que se da.

#### 4.6 Análisis costos construcción del dispositivo electrónico.

El presente capítulo se realiza la elaboración total del banco de pruebas, para evaluar y comprender los costos de la máquina en su totalidad.

##### 4.6.1 Análisis económico del dispositivo electrónico.

Se realizó el análisis de los gastos económicos que tuvo el banco de pruebas, donde se incluyen materiales, componentes electrónicos y mano de obra.

##### 4.6.2 Construcción del equipo.

Se detalla la lista de elementos ocupados parte mecánica, con su costo establecido correspondiente, presentadas en la tabla 15.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (\$)	Precio total (\$)
4	Lamina de acero AST A36 4,3mm	29,00	116,00
2	Tubo cuadrado acero estructural ASTM A36	79,68	159,36
1	Plancha de acero AISI 304	40,00	40,00
1	Caja de electrodos para suelda de acero inoxidable	15,22	15,22
2	Bisagras	0,50	1,00
4	Probetas plásticas	8,00	32,00
6	Acoples para manguera	0,80	4,80
	<b>Total</b>		<b>368,38 \$</b>

**Tabla 15.** Lista económica de infraestructura.

##### 4.6.3 Construcción eléctrica y de control

Se detalla la lista de elementos electrónicos usados en el banco de pruebas, con detalle de los diversos costos, presentados en la tabla 16.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio por unidad (\$)</b>	<b>Precio total (\$)</b>
1	Arduino MEGA	25,00	25,00
4	Sensor ultrasónico	2,00	8,00
2	Puente h para arduino	5,00	10,00
1	LCD arduino	7,00	7,00
1	Bomba de combustión	45,00	45,00
1	I2c para LCD	3,00	3,00
1	Manómetro	5,00	5,00
1	Cables para protoboard	4,00	4,00
1	Protoboard	8,00	8,00
1	Fuente alimentación 12V DC	6,00	6,00
1	Cargador variable	15,00	15,00
	<b>Total</b>		136,00

**Tabla 16.**Lista económica de infraestructura.

#### 4.7 Mano de obra

Para la mano de obra se toma como base el sueldo mínimo en el ecuador que es de 460,00\$ al mes, se divido por los 30 días y se calculó el valor diario presentes en la tabla 17. Cabe recalcar que somos dos personas por lo cual se toma por persona el precio de mano de obra.

<b>Cantidad /horas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio por unidad \$</b>	<b>Precio total \$</b>
240	Mano de obra	1,91	458,40
240	Mano de obra	1,91	458,40
	<b>Total</b>		916,8

**Tabla 17.**Lista económica de mano de obra

#### 4.8 Costo total de la construcción del banco de pruebas

Para la obtención del costo final del banco de pruebas se realiza una suma total de la parte mecánica, como la parte eléctrica y de control, sumado la mano de obra total, obteniendo los resultados presentes en la tabla 18.

Tipo de costo	Valor (\$)
Construcción mecánica	368,38 \$
Construcción eléctrica y control	136,00
Mano de obra	916,8
<b>Total</b>	<b>1421,18</b>

**Tabla 18.** Costo total del banco de pruebas

#### 4.9 Análisis Económico de dispositivo tecnológico

El proyecto requiere de una maquinaria que está considerada dentro (activo fijo) de \$529,38, generada por cinco años de flujo de \$350 y se considera a una tasa del 10% anual. A cuánto asciende VAN, TIR. Se observa en la tabla 19,20 y 21.

FORMULAS
$VAN = \sum(CF_t / (1+i)^t)$
$TIR = \text{raíz}(\sum(CF_t / (1+i)^t))$

**Tabla 19.** Formula de VAN y TIR

	0	1	2	3	4	5	
<b>FF</b>	\$ -529,38	\$ 350,00	\$ 350,00	\$ 350,00	\$ 350,00	\$ 350,00	
<b>Saldo Actualizado 10%</b>	\$ -529,38	\$ 318,18	\$ 289,26	\$ 262,96	\$ 239,05	\$ 17,32	
<b>Saldo Actualizado Acumulado</b>	\$ -529,38	\$ -211,20	\$ 78,06	\$ 341,02	\$ 580,07	\$ 797,40	Es positivo recupero

**Tabla 20.** Análisis económico

<b>TASA</b>	<b>10,00%</b>	
<b>VNA (Valor Neto Actual)</b>	<b>\$1.326,78</b>	
	\$ 1.326,78	El valor neto actual es igual al valor actual de los flujos futuros actualizados y sumados.
<b>VAN (Valor Actual Neto)</b>	<b>\$ 797,40</b>	Que este proyecto recupera la inversión inicial paga la tasa del 10% que le está solicitando y además tiene un valor excelente de \$797,40 que nos quiere decir que este proyecto está agregando valor.
<b>TIR (Tasa Interna de Retorno)</b>	<b>60%</b>	La tasa interna de retorno es mayor la que esta solicitado el proyecto que es 10%
<b>PR (Período de Recupero)</b>	<b>1,33</b>	

**Tabla 21.** Resultado de valor total VAN y TIR

## CONCLUSIONES

- Se analizó y evaluó 11 publicaciones científicas sobre la funcionalidad y tipo de parámetros de inyectores para bancos de pruebas a gasolina. Para valorar el funcionamiento de los inyectores, se asemejaron 4 parámetros clave: caudal, tiempo de apertura/cierre, pulverización, patrón de pulverización.
- Se crearon modelos 3D de cada componente del soporte en software de ingeniería SolidWorks con una precisión de  $\pm 0,1$  mm. Para montaje del banco de pruebas se utilizaron 8 tipos de diferentes piezas principales. Además, Se determinó que el factor de seguridad de la estructura de mesa se dio el valor 4 que es aceptable, lo que supera el valor mínimo recomendado de 1.5, las tensiones y deformaciones en la estructura se encuentran dentro de los límites admisibles. También, se asemejaron 3 puntos críticos en la estructura donde se recomienda realizar un refuerzo adicional.
- El análisis estructural mediante simulación en SolidWorks ha verificado que la estructura del banco de pruebas es eficiente, segura y resistente. Los resultados de la simulación han permitido optimizar el diseño del banco de pruebas para reducir el peso y el costo de fabricación.
- Se completó con éxito el diseño del sistema eléctrico del banco de pruebas. La simulación del circuito de control se realizó utilizando la plataforma Proteus. Los resultados de la simulación fueron analizados para determinar el comportamiento del sistema eléctrico capaz de controlar 1 actuadores y 4 sensores del banco de pruebas. La simulación del circuito mostró que el sistema eléctrico funciona correctamente con diferentes anchos de pulso (PWM). La simulación del circuito se indica que el sistema eléctrico funciona correctamente.
- La construcción y montaje del banco de prueba requirió una inversión inicial de 530 dólares, sin incluir la mano de obra. El soporte le admite diagnosticar y probar inyectores de gasolina. El stand es útil para propietarios de pequeñas empresas, centros técnicos. Por otra parte, El banco de pruebas le permite ahorrar dinero en reparaciones y mantenimiento del vehículo. Análisis de costo efectividad. Para finalizar cuando se realizan 10 pruebas por día a un costo de \$50 por prueba, los ingresos diarios serían de \$500. Una inversión inicial de \$530 se amortizará en menos de 3 días.

## RECOMENDACIONES

- Antes de iniciar la prueba, retirar el líquido de las probetas realizadas anteriormente para obtener una buena lectura de los sensores ultrasónicos.
- No dejar los acoples conectados en el riel, ya que con el paso del tiempo, las reacciones químicas o físicas pueden malograrse.
- El banco de pruebas está diseñado y programado específicamente para inyectores a gasolina. Se podría acoplar un prototipo para la determinación de fallas en inyectores a diesel, adaptando modificaciones al prototipo inicial y configurando parámetros de programación adecuados, para lograr un banco de pruebas para la mayoría de los vehículos en el país.
- Se puede optar por el uso de componentes más rígidos como el PLC de tipo industrial. No solo mejoraría la calidad de vida del banco de pruebas, sino que también sería más preciso y estable.
- El proyecto para dar mantenimiento se puede aplicar un sistema de control de temperatura, ya que la bomba y los distintos componentes electrónicos al pasar el tiempo de uso generan energía en forma de calor. Esto puede causar perturbaciones a los componentes electrónicos presentes en el banco, al mismo tiempo que aumentaría la vida útil del banco de pruebas.



## REFERENCIAS

- [1] Rodes, «Vehículos a gasolina y su funcionamiento,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.ro-des.com/mecanica/motores-gasolina/>.
- [2] J. S. Á. M. Jorge Molina, «en consumo de combustible y emisiones contaminantes del vehículo segmento A, aplicando la simulación de ciclo,» pp. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://core.ac.uk/download/539823761.pdf, 2022.
- [3] Vaiky, «Funcionamiento de combustibles en coches a gasolina,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.vaiiki.com/Capacitacion/Vista/Descargas/Motores.pdf.
- [4] D. P. Geovanny Mora, «los parámetros correctos de funcionamiento de inyectores,» 2014. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7853/1/UPS-CT004692.pdf.
- [5] P. Villavicencio, «Qué son los inyectores a gasolina,» 2012. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2300/1/65T00053.pdf.
- [6] Mecanic, «inyector de gasolina,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.fullmecanica.com/definiciones/i/1596-inyectores-de-gasolina-funcionamiento>.
- [7] Rodi, «impurezas y para el mantenimiento de los inyectores,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.rodi.es/blog/mantenimiento-inyectores/>.
- [8] M. Den, «Inyectores: cómo funcionan de inyectores y a qué averías están expuestos,» 2020. [En línea]. Available: <https://club.autodoc.es/magazin/inyectores-como-funcionan-y-a-que-averias-estan-expuestos>.
- [9] Petrolead, «¿Cómo funciona un inyector de gasolina?,» 2023. [En línea]. Available: <https://petrolheadgarage.com/cursos-automocion/inyector-gasolina/>.
- [10] R. Cárdenas, «Qué es PWM, Duty Cicly,» 2023. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/2/EL6009/1/material\_docente/bajar?id=383731&lsar=1&file=0.
- [11] Scribd, «Generador de pulsos para inyectores a gasolina,» 2020. [En línea].

- Available: <https://es.scribd.com/document/539837258/GENERADOR-DE-PULSOS- PARA-INYECTORES-A-GASOLINA>.
- [12] P. Villavicencio, «tipos de circuitos para controlar los inyectores,» 2012. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2300/1/65T00053.pdf>.
- [13] J. A. Richard C, «Circuitos Eléctricos,» 2020. [En línea]. Available: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang\\_es&id=xNBzEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=%09Circuito+de+control+voltaje+y+corriente.+&ots=c2HSBWsrHP&sig=6MFBtuH7ChQDQKbi6NAuqkvC020#v=onepage&q=Circuito%20de%20control%20voltage%20y%20corriente.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=xNBzEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=%09Circuito+de+control+voltaje+y+corriente.+&ots=c2HSBWsrHP&sig=6MFBtuH7ChQDQKbi6NAuqkvC020#v=onepage&q=Circuito%20de%20control%20voltage%20y%20corriente.&f=false).
- [14] E-Auto, «la Curva de Flujo del Inyector,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.e-auto.com.mx/ew/index.php?view=article&id=7169>.
- [15] Mapfri, «mantenimiento de los inyectores,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/limpieza-inyectores-gasolina/>.
- [16] Globaltech, «BANCO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE 6 INYECTORES GT-600-PRO,» 2022. [En línea]. Available: <https://globaltech-car.com/producto/banco-de-pruebas-y-limpieza-de-inyectores-gt-600-pro/>.
- [17] ToolCare, «LIMPIADOR Y COMPROBADOR DE INYECTORES AUTOOL – 4 PROBETAS,» 2022. [En línea]. Available: <https://toolcarec.com/producto/limpiador-y-comprobador-de-inyectores-autol-4-probetas/>.
- [18] Protalleres, «Banco de prueba GDI,» 2022. [En línea]. Available: <https://protalleres.com/product/banco-de-prueba-de-inyectores-gdi-4-probetas/>.
- [19] Mecánico, «banco de prueba 6 probetas ENC602a,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.lagrantiendadelmecanico.com/banco-de-inyectores-enc602a/>.
- [20] Dipac, «Tubo Mecánico Cuadrado,» 2022. [En línea]. Available: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-mecanico/tubo-mecanico-cuadrado/>.
- [21] Rodi, «lo que debes saber sobre la bomba de gasolina,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.ro-des.com/mecanica/bomba-de-gasolina-que-es-y-como-funciona/>.
- [22] Mario, «Regulador de Presión de Gasolina Tomco,» 2022. [En línea]. Available: <https://refaccionariamario.com/reguladores-de-gasolina/24897-regulador->

- de-presion-de-gasolina-tomco-para-chevy-c2-c3-ford-courier-ecosport-ikon-ka.html.
- [23] Truper, «manguera de presión para inyectores,» 2023. [En línea].  
Available: [https://www.truper.com/mangueras-de-pvc-para-gas-3-8-x-3-8-alta-presion.html?\\_\\_cf\\_chl\\_tk=IeY6NXhFTKGqNif5OT90sgRI7tkH7tEryLBAD.Gw8ZA-1705421603-0-gaNy cGzNDaU](https://www.truper.com/mangueras-de-pvc-para-gas-3-8-x-3-8-alta-presion.html?__cf_chl_tk=IeY6NXhFTKGqNif5OT90sgRI7tkH7tEryLBAD.Gw8ZA-1705421603-0-gaNy cGzNDaU).
- [24] Pumpstop, «nanómetro 150psi,» 2023. [En línea].  
Available: <https://www.pumpstoponline.com.ve/products/manometro-conexion-radial-1-4-pulgadas-de-0-60-psi-a-0-220-psi>.
- [25] Binovo, «diseño electrico qué es y cómo funciona,» 2021. [En línea].  
Available: <https://binoovo.com/blog/el-diseno-electrico-los-detalles-que-facilitan-el-acceso-a-nuestras-soluciones>.
- [26] Novatrónica, «arduino mega 2560,» 2020. [En línea].  
Available: <https://novatronicec.com/index.php/product/arduino-mega-2560-r3-2/>.
- [27] L. LLamas, «PWM en arduino mega,» 2015. [En línea].  
Available: <https://www.luisllamas.es/salidas-analogicas-pwm-en-arduino/>.
- [28] Science, «Cómo calcular el ciclo de trabajo de una frecuencia,» 2020. [En línea].  
Available: <http://es.scienceaq.com/Physics/100309713.html>.
- [29] R. Cárdenas, «calculo de ancho de pulsos para ciclo de trabajo,» 2020. [En línea].  
Available: [chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclclefindmkaj/https://www.ucursos.cl/ingenieria/2011/2/EL6009/1/material\\_docente/bajar?id=383731&lsar=1&file=0](chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclclefindmkaj/https://www.ucursos.cl/ingenieria/2011/2/EL6009/1/material_docente/bajar?id=383731&lsar=1&file=0).
- [30] J. Talos, «El puente H doble L298N,» 2019. [En línea].  
Available: <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/puente-h-doble-l298n>.
- [31] Q. Academic, «Sensor ultrasónico HC-SR04,» 2019. [En línea].  
Available: <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/tutorial-de-arduino-con-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>.
- [32] UIAHG, «modulo LCD 16x2,» 2021. [En línea].  
Available: [http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas\\_final/OA4/lcd.html#:~:text=LCD%20o%20pantalla%20de%20cristal,muy%20peque%C3%B1as%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica..](http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/OA4/lcd.html#:~:text=LCD%20o%20pantalla%20de%20cristal,muy%20peque%C3%B1as%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica..)
- [33] COPADATA, «COPADATA,» 29 Noviembre 2023. [En línea].  
Available: <https://www.copadata.com>. [Último acceso: 29 Noviembre 2023].

- [34] ATVISE, «atvise,» 25 Abril 2021. [En línea].  
Available: <https://atvise.vesterbusiness.com/news/sistema-hmi/>. [Último acceso: 30 11 2023].
- [35] F. O. Tellez, «dep.fie.umich.mx,» 11 Diciembre 2023. [En línea].  
Available: [https://dep.fie.umich.mx/~fornelas/data/uploads/pres\\_controldifuso.pdf](https://dep.fie.umich.mx/~fornelas/data/uploads/pres_controldifuso.pdf).  
[Último acceso: 11 Diciembre 2023].
- [36] J. C. Gomez, «frba.utn.edu.ar,» 12 Diciembre 2023. [En línea].  
Available: <https://www.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2021/02/Fuzzy-Control.pdf>.  
[Último acceso: 12 Diciembre 2023].
- [37] H. Encias, «elmueble,» 23 mayo 2023. [En línea].  
Available: [https://www.elmueble.com/plantas-flores/como-cuidar-petunias\\_45097](https://www.elmueble.com/plantas-flores/como-cuidar-petunias_45097).  
[Último acceso: 2 1 2023].
- [38] Platina, «De Inyectores Con 4 Inyectores,» 2017. [En línea].  
Available: <https://www.ocompra.com/mexico/item/kit-de-riel-de-inyectores-con-4-inyectores-nissan-platina-1918037385/>.

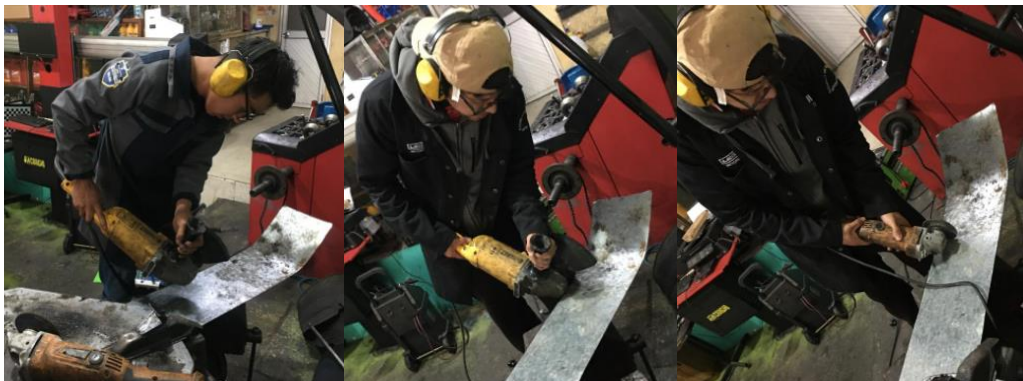
## ANEXOS

### Anexo 1 Etapas de construcción del banco de pruebas.

Previo a la compra de toda la plancha de Acero estructural ASTM A36 se realizó las medidas y trazo para realizar el corte de la estructura, todo con guía de los planos realizados.

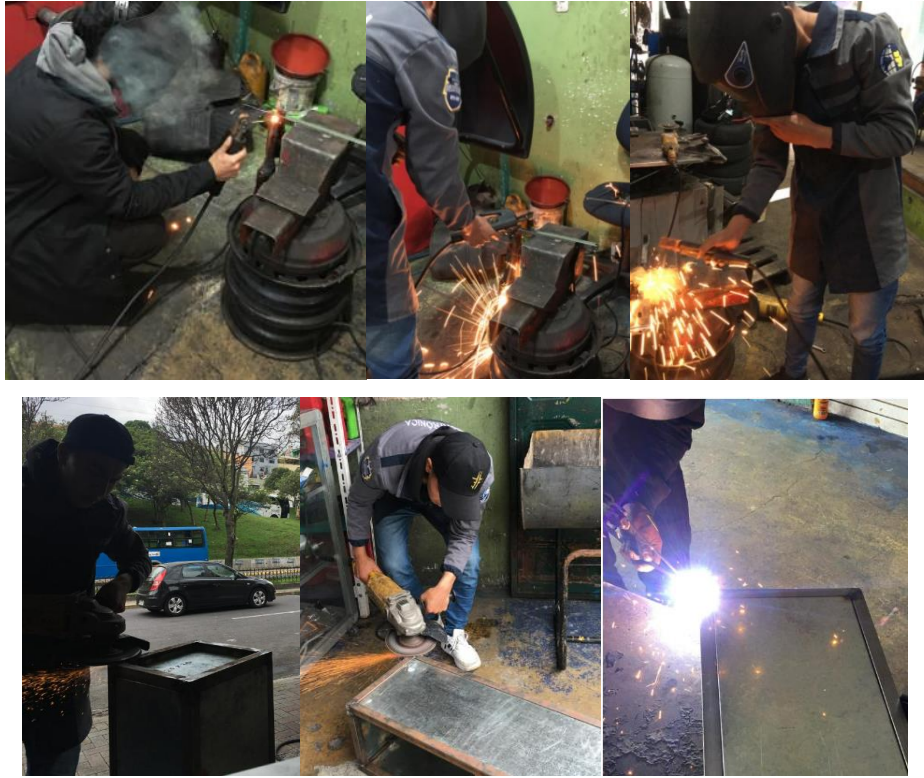


### Anexo 2 Corte del trazo realizado



### Anexo 3 Proceso de soldadura del banco

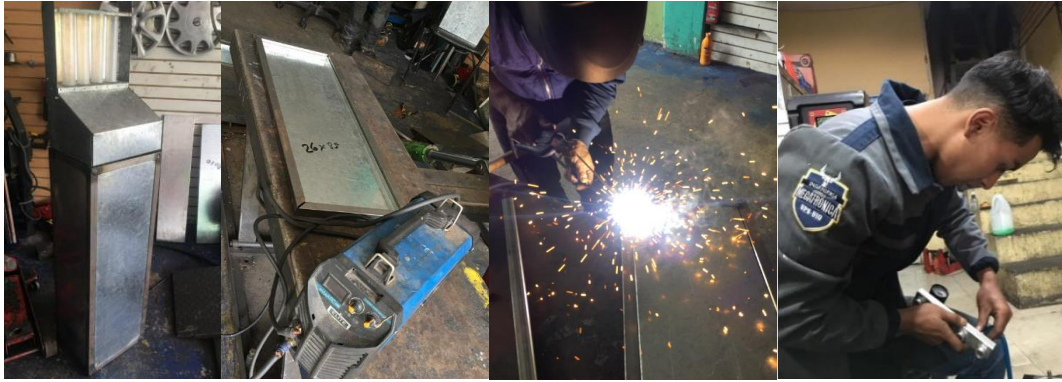
Se realiza el proceso de soldadura, tomando siempre las protecciones necesarias, la soldadura es de la base principal de banco pruebas.



**Anexo 4** Ensamble completo con los componentes mecánicos y electrónicos.

El ensamble del banco de pruebas se lo realiza agregando los componentes electrónicos una vez terminado el armado de la estructura del proyecto.





### **Anexo 5** Ensamble final del probador de inyectores

Ensamble de la estructura terminada, se el ajuste tanto de la parte eléctrica, mecánica y de potencia para lograr, la base completada con todos los componentes.

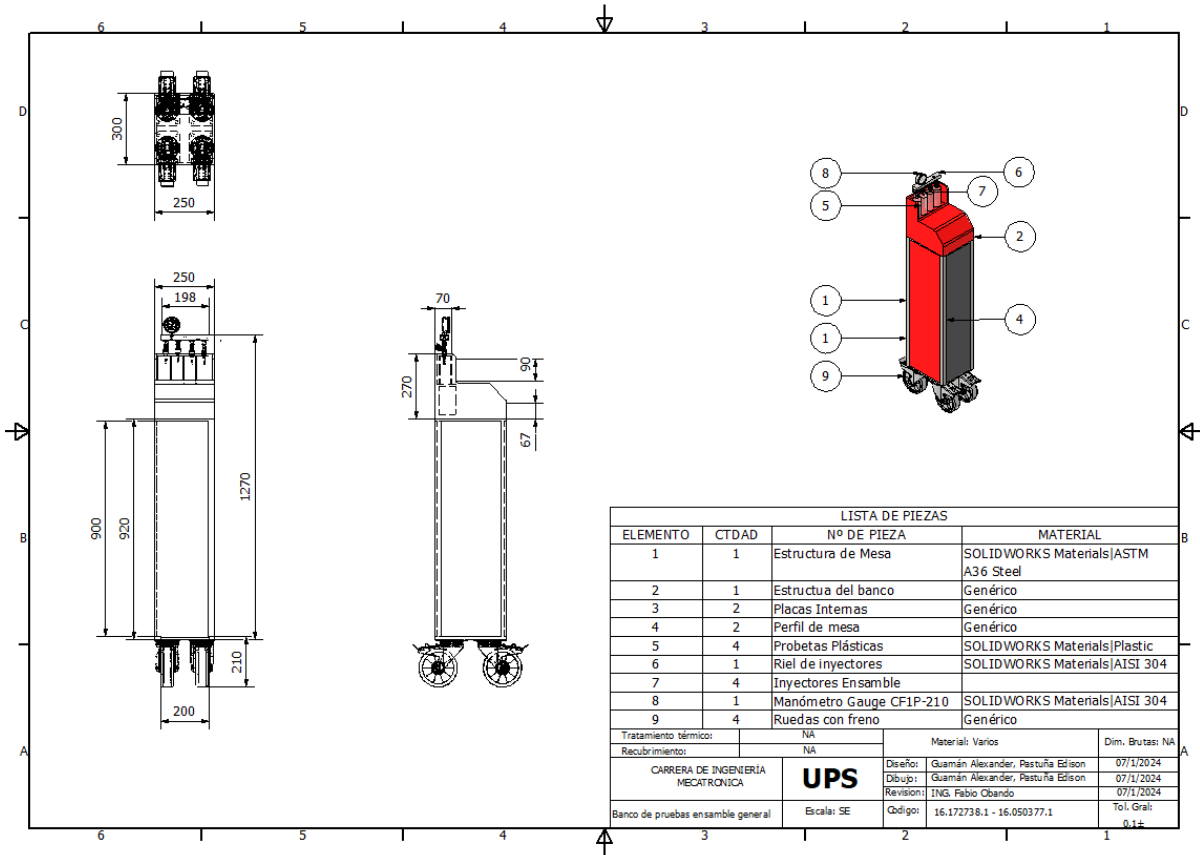


### **Anexo 6** Pruebas de funcionamiento con refrigerante rojo

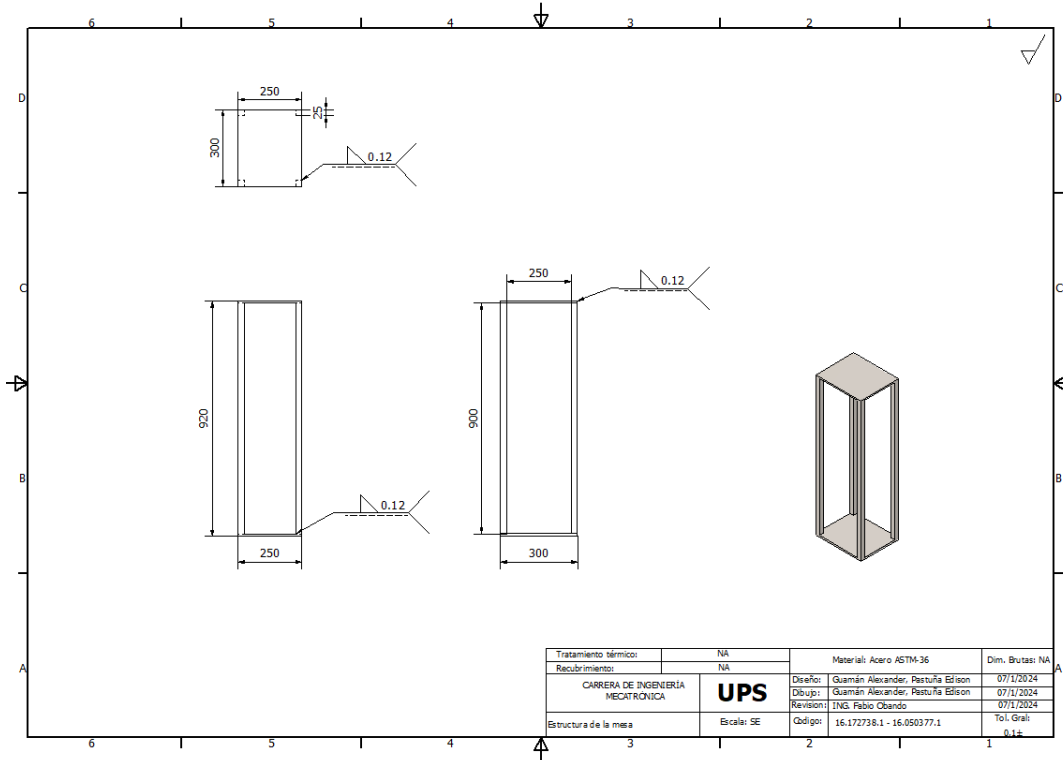
Una vez ensamblado todo el banco se realizó la subida correcta con la compilación de la programación en arduino y se procede a realizar las distintas pruebas de funcionamiento.



## Anexo 7 Planos de la estructura

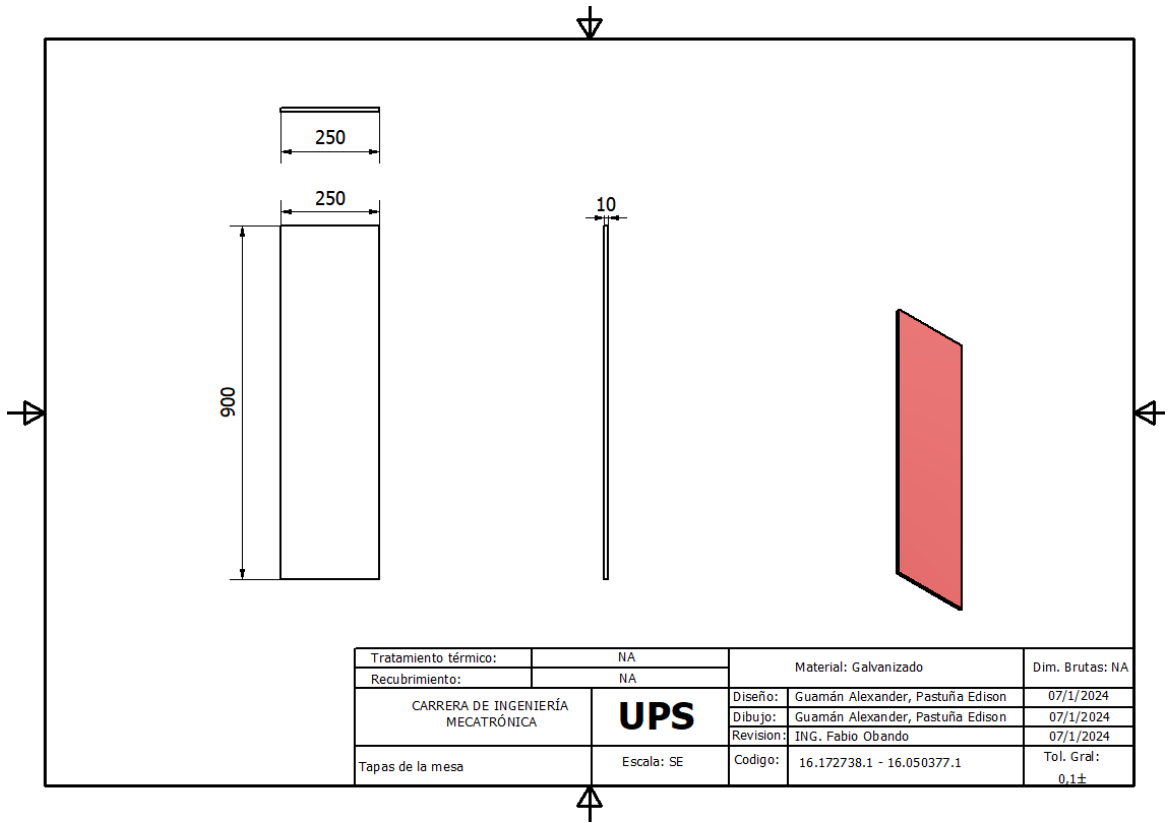


## Anexo 8 Dimensiones de banco de prueba

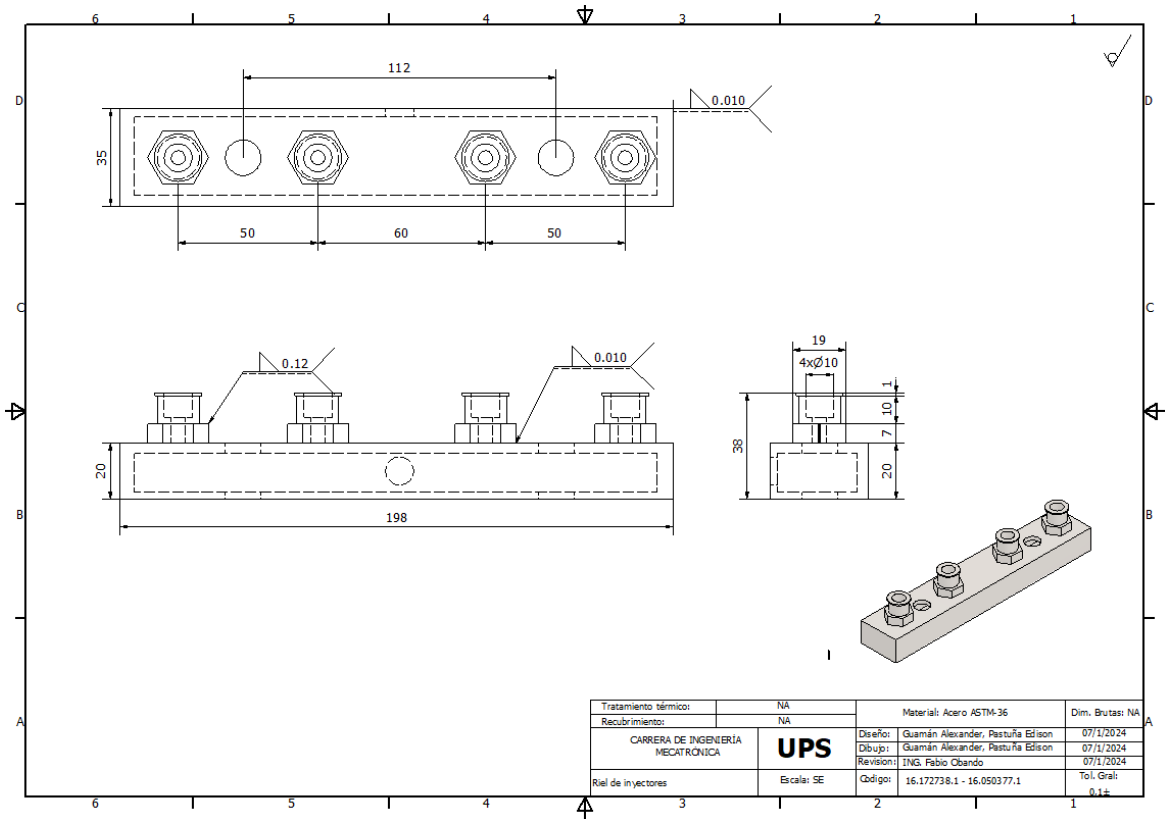


## Anexo 9 Estructura de la mesa

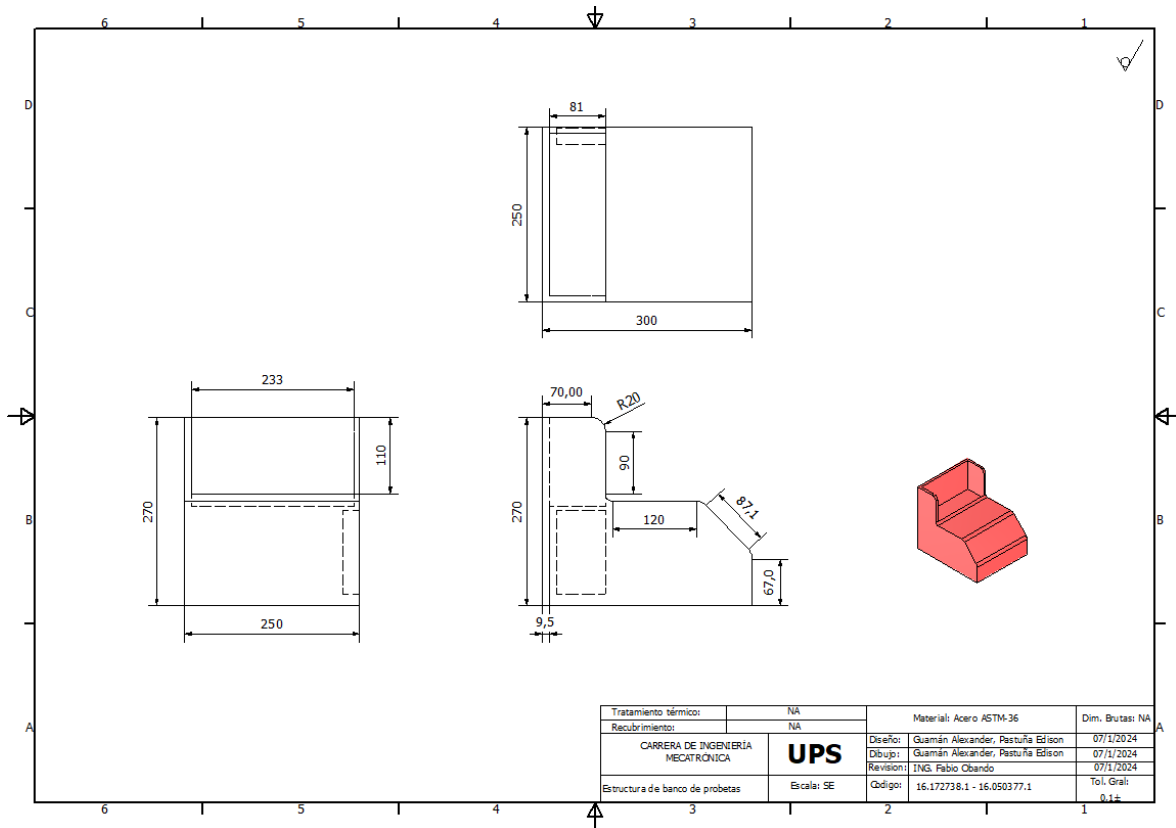




**Anexo 10** Estructura de perfiles laterales



**Anexo 11** Riel de inyectores, diseño Solid.



**Anexo 12 Estructura de banco de pruebas**

**Anexo 13 Código implementado de arduino para la programación del banco de pruebas**

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
int trig=10;
int echo=9;
int LED = 6;
int duracion;
float distancia;
#define I2C_ADDRESS 0x27
#define SCREEN_WIDTH 16
#define SCREEN_HEIGHT 2
#define INJECTOR_PIN_1 9
#define INJECTOR_PIN_2 10
#define INJECTOR_PIN_3 11
#define INJECTOR_PIN_4 12
#define RPM_PIN A0
```

```

#define TIME_PIN A1

int rpm = 0;
int time = 0;
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDRESS, SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0); //
  lcd.print("BIENVENIDO EL RPM ACTUAL ES:");
  pinMode(INJECTOR_PIN_1, OUTPUT);
  pinMode(INJECTOR_PIN_2, OUTPUT);
  pinMode(INJECTOR_PIN_3, OUTPUT);
  pinMode(INJECTOR_PIN_4, OUTPUT);
  pinMode(trig,OUTPUT);
  pinMode(echo,INPUT);
}

void loop() {

  rpm = map(analogRead(RPM_PIN), 0, 1023, 100, 3000);
  time = map(analogRead(TIME_PIN), 0, 1023, 1, 15);

  lcd.setCursor(5, 0);
  lcd.print(rpm);
  lcd.print(" ");

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("COMENZAR PRUEBA EL TIEMPO ES:");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(time);
}

```

```

lcd.print("ms");
digitalWrite(INJECTOR_PIN_1, HIGH);
digitalWrite(INJECTOR_PIN_2, HIGH);
digitalWrite(INJECTOR_PIN_3, HIGH);
digitalWrite(INJECTOR_PIN_4, HIGH);

delay(time);

digitalWrite(INJECTOR_PIN_1, LOW);
digitalWrite(INJECTOR_PIN_2, LOW);
digitalWrite(INJECTOR_PIN_3, LOW);
digitalWrite(INJECTOR_PIN_4, LOW);

delay(60000 / rpm - time);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("DISTANCIA:");
digitalWrite(trig,HIGH);
delay(1);
digitalWrite(trig,LOW);
duracion=pulseIn(echo,HIGH);
distancia=duracion/58.2;
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(distancia +String("cm"));
delay(1000);
}

#define F_TRIG_PIN 3
#define F_ECHO_PIN 4
#define S_TRIG_PIN 5
#define S_ECHO_PIN 6
#define SOUND_SPEED 0.0343

```

```
unsigned long fTimeMicroseconds = 0;
unsigned int fDistanceCentimeters = 0;
```

```
unsigned long sTimeMicroseconds = 0;
unsigned int sDistanceCentimeters = 0;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
pinMode (F_TRIG_PIN, OUTPUT);
pinMode (S_TRIG_PIN, OUTPUT);
pinMode (F_ECHO_PIN, INPUT);
pinMode (S_ECHO_PIN, INPUT);
Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
:
```

```
digitalWrite(S_TRIG_PIN, LOW);
digitalWrite(F_TRIG_PIN, LOW);
```

```
/****** First Sensor *****/
```

```
delayMicroseconds(2);
```

```
digitalWrite(F_TRIG_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(F_TRIG_PIN, LOW);
```

```
fTimeMicroseconds = pulseIn(F_ECHO_PIN, HIGH); // time the ultra sound go and back
fDistanceCentimeters = SOUND_SPEED * (fTimeMicroseconds / 2);
```

```
/****** Second Sensor *****/  
delayMicroseconds(2);  
  
digitalWrite(S_TRIG_PIN, HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(S_TRIG_PIN, LOW);  
  
sTimeMicroseconds = pulseIn(S_ECHO_PIN, HIGH); // time the ultra sound go and back  
sDistanceCentimeters = SOUND_SPEED * (sTimeMicroseconds / 2);  
  
Serial.print(fDistanceCentimeters);  
Serial.print(", ");  
Serial.println(sDistanceCentimeters);  
}
```