



**Diseño e implementación de un banco didáctico para pruebas en
motores Diésel, con aplicación de estudio en la Universidad Antonio
Nariño-Tunja.**

Marco Tulio García Duarte

código: 20451328053

Pedro Vicente Suarez Pinilla

código: 20451321993

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia

2020

**Diseño e implementación de un banco didáctico para pruebas en
motores Diésel, con aplicación de estudio en la universidad Antonio
Nariño-Tunja.**

Marco Tulio García Duarte

código: 20451328053

Pedro Vicente Suarez Pinilla

código: 20451321993

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Directora:

Ingeniera Mercy Tatiana Villate Fonseca

Codirector:

Ingeniero Miller Oswaldo Cely Carreño

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia

2020

Declaratoria:

Primeramente, a Dios por permitir a mis padres Oscar García y Aida Duarte hacer de mí una mejor persona debido al excelente ejemplo que han inculcado a través de los años, gracias por brindarme la oportunidad de superarme académicamente y lo más importante, la oportunidad de desarrollarme como un excelente profesional en beneficio de la sociedad actual.

Marco Tulio García Duarte

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios quien es mi fortaleza y quien guía mis pasos para seguir adelante, a mis padres por darme el apoyo incondicional cuando más lo necesite, a mi esposa e hijo que a través de su amor y paciencia me ha ayudado a cumplir esta meta, a todos los profesores y compañeros que estuvieron hay para enseñarme y hacer de mí una mejor persona y un profesional capaz de expresar un conocimiento desinteresadamente

Pedro Vicente Suarez Pinilla

Agradecimientos

Agradecimiento especial a los ingenieros Mercy Tatiana Villate Fonseca y Miller Oswaldo Cely y demás docentes del Programa de Ingeniería Mecánica de la UAN – sede Tunja que han acompañado el desarrollo del proyecto.

A la Universidad Antonio Nariño sede Tunja, por ofrecer los docentes idóneos, así como los recursos humanos y de infraestructura para llevar a cabo las actividades necesarias para formarnos como Ingenieros Mecánicos.

Finalmente, un agradecimiento a los compañeros de estudio, ya que han sido un punto de apoyo importante en el transcurso del desarrollo pedagógico.

Resumen

Este documento describe los criterios fundamentales en el diseño y la implementación de un banco de pruebas para un motor Diésel y posteriormente la descripción de los procesos desarrollados para su construcción. En la fase de diseño: los factores más importantes a tener en cuenta son la ergonomía y la seguridad del operario, para garantizar así, un banco flexible y confiable durante su funcionamiento; para esto, se realizan pruebas de estudio al diseño de la estructura que soportara los sistemas y subsistemas, esto se lleva a cabo por medio de programas como Autodesk Inventor. El diseño de la estructura es validado por medio de simulaciones de cargas, y de esta manera garantizar que las dimensiones del banco sean estructuralmente correctas. La estética es un factor importante a tener en cuenta al momento de la construcción al igual que los procesos de manufactura de fácil acceso a bajo costo. Se concluye que este tipo de máquinas beneficia el proceso de aprendizaje de los estudiantes en el área de motores.

Palabras clave: *Banco de prueba, motor diésel, diseño, construcción.*

Abstract

This document describes the fundamental criteria in the design and implementation of a test bench for a diesel engine, and subsequently the description of the processes developed for its construction. In the design phase: the most important factors to consider are ergonomic and operator safety, thus guaranteeing a flexible and reliable bank during its operation, for this, study tests are carry out on the design of the systems and subsystems of the bank through programs such as Autodesk Inventor, the structure design is validated through load simulations, and thus ensure that the bank dimensions are structurally correct for its operation. The aesthetic is an important factor to consider at the time of construction, as well as manufacturing processes easily accessible at a low cost.

Keywords: Test bench, diesel engine, design, construction.

Contenido

Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de graficas	1
Introducción	2
1. Marco teórico	7
1.1 Factores medibles en el funcionamiento del motor Diesel	8
1.1.1 Revoluciones por minuto (rpm).....	8
1.1.2 Presión de aceite.....	8
1.1.3 Temperatura interna del motor.....	8
1.1.4 Presión de combustible.....	9
1.1.5 Nivel de carga de la batería.....	9
1.2 Banco de prueba.....	10
1.3 Motor diésel.....	10
1.4 Partes del motor diésel.....	11
1.4.1 Bloque motor.....	12
1.4.2 Cigüeñal.....	12
1.4.3 Culata.....	13
1.4.4 Pistón.....	13
1.4.5 Camisas.....	13
1.4.6 Segmento.....	14
1.4.7 Biela.....	14

1.4.8	Cojinetes	14
1.4.9	Válvulas	15
1.4.10	Rotador de válvulas	16
1.4.11	Engranajes de distribución.....	16
1.4.12	Bomba de aceite	16
1.4.13	Bomba de agua	16
1.4.14	Amortiguadores	17
1.4.15	Carter	17
1.4.16	Colector de admisión	17
1.4.17	Colector de escape	17
1.4.18	Bomba de inyección.....	18
1.4.19	Inyector.....	18
1.5	Tipos de inyección en un motor diésel	18
1.5.1	Sistema de inyección directa	18
1.5.1	Sistema de Inyección indirecta	19
1.6	Principales fallas en los motores diésel.....	19
1.6.1	Baja presión de compresión.....	20
1.6.2	Inyección prematura del combustible.....	20
1.6.3	Retardo del tiempo de la Inyección del combustible	20
1.6.4	Inyección Excesiva de combustible	21
1.6.5	Humo excesivo en marcha mínima.....	21
1.6.6	Baja presión de aceite	21
1.7	Deformación.....	22
1.8	Momento de inercia.....	22
1.9	Cortante de un material.....	23
2.	Desarrollo metodológico.....	24
2.1	Fase 1. Diseño de la estructura del banco	24
2.1.1	Diseño de piezas que componen la estructura.....	25
2.1.2	Diseño ergonómico de la estructura	27
2.1.3	Diseño reja de seguridad.....	28

2.1.4 Dimensiones, peso y cargas estáticas.....	29
2.1.5 Selección del material para la estructura de soporte	31
2.1.6 Verificación matemática del material propuesto para la estructura.....	32
2.1.7 Cálculos de la fuerza cortante del material.....	33
2.2 Fase 2. Construcción y ensamble del banco.....	34
2.2.1 Corte del hierro:	35
2.2.2 Soldadura.....	35
2.2.3 Restauración del motor.....	38
2.2.4 Restauración del motor KIA JUPITER J2.	40
2.2.5 Instalación de manómetros en el tablero de control.....	44
2.3 Fase 3. Verificación de funcionamiento del motor.....	44
2.4 Fase 4. Elaboración del manual – guía de laboratorio.....	45
3. Resultados y análisis.....	46
3.1 Simulación de cargas desarrollada en el programa Autodesk Inventor. .	46
3.2 Resultados del diseño ergonómico del banco didáctico para motor diésel.....	47
3.3 Verificación de funcionamiento del banco didáctico motor KIA JUPITER J2.....	47
3.3.1 Prueba de estanqueidad al motor diésel.....	47
3.3.2 Prueba de compresion a los cilindros del motor.	48
3.3.3 Análisis de los sistemas de motor diésel.	50
3.3.4 Parámetros de funcionamiento del motor KIA JUPITER J2 establecidos por el fabricante.....	54
3.4 Resultado final obtenido.....	54
3.5 Resultados de inversión.....	55
4. Conclusiones y recomendaciones.....	58
4.1 Conclusiones.....	58
4.2 Recomendaciones.....	59
Bibliografía.....	60

Anexo A.	63
Guía para docentes – manual de laboratorio de motores de combustión interna.	63
Anexo A1.	63
Guía para estudiantes – manual de laboratorio de motores de combustión interna.	63
Anexo B.	63
Detalle del material de construcción de la estructura, banco didáctico para motor diésel.	63
Anexo C.	63
Plano general de la estructura	63

Lista de figuras

Figura 1. Sistema de inyección en un motor Diesel. Fuente [19].....	9
Figura 2. Gráfica de relación de compresión vs eficiencia. Fuente [23]	11
Figura 3. Despiece de un motor diésel. Modificado a partir de [24].....	12
Figura 4. Montaje válvulas. Fuente [27].....	15
Figura 5. Ensamble del diseño de la estructura.....	27
Figura 6. Proyección ergonómica de la estructura. Modificado a partir de [32] ..	28
Figura 7. Diseño reja de seguridad.....	28
Figura 8. Proyección ensamblaje del banco didáctico.....	29
Figura 9. Dimensiones y características de la estructura.	30
Figura 10. Dimensiones del tubo de hierro A50.....	33
Figura 11. Cortes de tubería para estructura del banco didáctico.	35
Figura 12. Unión por medio de soldadura 6013.....	37
Figura 13. Desarrollo de construcción de estructura.	38
Figura 14. Motor KIA JUPITER J2.....	38
Figura 15. Tablero de control.....	44
Figura 16. Resultado de simulaciones de cargas, programa Autodesk Inventor. 46	
Figura 17. Resultados ergonómicos del equipo de trabajo.....	47
Figura 18. Prueba de estanqueidad del sistema de refrigeración.....	48
Figura 19. Banco didáctico motor diésel.....	55

Lista de tablas

Tabla 1. Comportamiento normal de carga de batería. Fuente [20].....	10
Tabla 2. Causas y afectaciones del sistema de lubricación. Fuente [30].....	22
Tabla 3. Diseño de las partes estructurales del banco didáctico.	25
Tabla 4. Dimensiones y características de la estructura.....	30
Tabla 5. Propiedades mecánicas de aceros estructurales según norma americana. Fuente [33]	31
Tabla 6. Información general de la soldadura 6013. Fuente [34].	36
Tabla 7. Información referente al motor KIA JUPITER J2.....	39
Tabla 8: Parámetros de ralentí del motor diésel KIA JUPITER J2.....	39
Tabla 9. Despiece del motor KIA JUPITER J2.....	40
Tabla 10. Comparación del motor adquirido VS restaurado.	43
Tabla 11. Procedimiento para realizar prueba de compresión al motor diésel. ...	49
Tabla 12. Parámetros de funcionamiento, Motor diésel KIA JUPITER J2.	54
Tabla 13. resultados de inversión.	56

Lista de graficas

Grafica 1. Presión de aceite.	50
Grafica 2. Temperatura.	51
Grafica 3. Presión de combustible.....	52
Grafica 4. Nivel de carga de la batería.	53

Introducción

Los motores diésel son ampliamente utilizados en vehículos de carga [1] y en la industria debido a que ofrecen alto torque a bajas revoluciones por minuto (rpm) [2], esto representa una ventaja comparativa respecto a otras tecnologías [3], tales como los motores a gasolina o gas [4]. Durante los últimos años, el mercado automotriz ha registrado un crecimiento considerable en Colombia [5] sobre todo en vehículos cuyo combustible es el gasoil debido al precio elevado de la gasolina [6]. Por esto es de gran importancia el conocimiento de esta máquina en la formación del ingeniero mecánico.

El campo de aprendizaje que constituye los motores de combustión interna es bastante amplio. Centros de educación superior y escuelas técnicas incorporan bancos de ensayos de motores diésel para sus procesos de aprendizaje [7][8], por tanto, se identifica la necesidad de que la Universidad Antonio Nariño sede Tunja disponga de uno de ellos. Por último, es importante destacar que la realización del presente proyecto beneficiará a la comunidad académica de la UAN y a los procesos de aprendizaje de las asignaturas: generación térmica y Motores de Combustión.

Actualmente, en la Universidad Antonio Nariño sede Tunja, se imparten conocimientos teóricos respecto al funcionamiento de motores Diesel en las asignaturas de generación térmica y motores de combustión interna. Así mismo, se cuenta con un servicio de laboratorio practico enfocado a motores. No obstante, no existe disponibilidad de un banco didáctico para el aprendizaje del funcionamiento de un motor diésel, lo que imposibilita la realización de prácticas académicas de dicha tecnología de motores. Atendiendo a esta limitación, la presente investigación se enfoca en el diseño y construcción de un banco de ensayos para motores diésel, el cual constará de los siguientes sistemas: arranque, carga, alimentación, refrigeración, pre – encendido y escape de gases. De igual forma se diseñará y construirá un sistema de soporte para los sistemas previamente mencionados y para el motor diésel que se instalará.

Los estudiantes del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja disponen de un banco de motor a gasolina, utilizado para complementar la formación teórica recibida en las aulas, pero resta adecuar un banco didáctico con un motor diésel 4 tiempos para complementar el trabajo experimental, teniendo en cuenta que estos dos tipos de motores son los más utilizados en el mundo [9], por consiguiente se construirá un banco didáctico para el laboratorio a partir de un motor diésel 4 tiempos y 4 cilindros en línea ya que existen modelos de motores disponibles en el mercado [10].

El objetivo principal de la investigación se enfoca en el diseño y construcción de un banco didáctico para motor diésel. La estructura se verifica mediante simulaciones de cargas en el programa Autodesk Inventor, teniendo en cuenta que el motor y los componentes adicionales poseen un peso determinado de 536 Kg los cuales generan una fuerza normal w igual a 51529,968 N.

En el desarrollo de diseño del banco, se considera la distribución sobre la estructura de los accesorios necesarios para el funcionamiento. La batería tiene un peso determinado de 17 Kg la cual equivale a una fuerza normal w de 166,77 N, el radiador posee un peso de 24 Kg (lleno de refrigerante) produciendo una fuerza normal w de 235,44 N, el tanque de combustible tiene una capacidad máxima de 3L lo cual equivale a un peso neto de 3,543 Kg este peso genera una fuerza normal w de 34,76 N, el motor pese un peso de 456 Kg lo cual produce una fuerza normal w de 4473,63 N. Considerando los riesgos a los que está expuesto el usuario, se diseña y construye una reja de seguridad la cual aísla el motor sobre la estructura, dicha reja tiene un peso determinado de 39 Kg dando como resultado una fuerza normal de 382,59 N.

Teniendo en cuenta los parámetros medibles del motor establecidos por el fabricante se incorpora un tablero de control a la estructura, el cual posee manómetros correspondientes a cada sistema para verificar el funcionamiento óptimo del banco.

Los factores medibles en el banco didáctico son:

- Voltaje y amperaje de batería, se verifica mediante prueba experimental utilizando un multímetro, lo cual se compara con el parámetro establecido en el manómetro correspondiente en el tablero de control.
- Compresión por cilindro, este proceso se lleva a cabo para determinar el estado del motor, teniendo en cuenta que la compresión normal en motor diésel oscila entre 275 a 495 psi, en lo cual influye el tipo de inyección; si es inyección directa tiende a subir la compresión, mientras que si es indirecta tiende a bajar. Recomendación (para realizar la prueba de compresión se debe utilizar una batería con nivel de carga alto y de esta manera evitar una mala lectura de la prueba).
- En el sistema de refrigeración (radiador), se debe considerar que no exista ninguna fuga, para verificar esto se realiza una prueba experimental de estanqueidad con un probador de fugas de radiador, el cual inyecta una presión no mayor a 21,75 psi.
- El tanque de combustible instalado tiene una capacidad de 3L, es de material plástico para evitar corrosión por humedad dentro del tanque.
- La presión de aceite se mide en psi, se considera normal en un motor diésel cuando oscila entre 20 a 60 psi, esto se verifica en el manómetro correspondiente en el tablero de control.
- Para obtener las medidas de presión de combustible se realiza el montaje de un acople en la bomba de inyección, la cual va dirigida por medio de una manguera al tablero de control, está a su vez va conectada a un manómetro. Estos datos se recolectan con unidad de medida en psi.

Para dar cumplimiento al objetivo 4 del anteproyecto se elabora un manual de operación didáctico para los estudiantes de la UAN.

El alcance del presente proyecto implica el diseño estructural de un banco didáctico

para un motor diésel, en el cual el usuario podrá verificar el funcionamiento general de los subsistemas del motor, mediante parámetros de lectura como lo son los manómetros.

El banco de pruebas constará con un motor diésel operativo el cual permitirá la realización de prácticas académicas para los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica de la universidad Antonio Nariño sede Tunja.

Las limitaciones encontradas en el desarrollo del proyecto fueron causadas por la problemática social que conlleva la pandemia COVID-19, lo cual no permitió la elaboración de pruebas adicionales a otros sistemas del motor, como, por ejemplo: la opacidad de gases y pruebas relacionadas al consumo de combustible.

De acuerdo con los objetivos se va a realizar el procedimiento pertinente para el diseño y construcción del banco de prueba para motores diésel, a través del siguiente procedimiento:

- Diseño de la estructura del banco.

Para el diseño de la estructura se tendrá como punto de partida estructuras de prototipos anteriores debido a que la geometría (forma rectangular), que se usa tiene el mayor aprovechamiento de espacios para soportar el correcto funcionamiento del motor.

En cuanto el peso que deberá soportar la estructura se realizaran pruebas de medidas de peso al motor y los accesorios para determinar su peso total. La estructura de soporte del motor diésel debe ser resistente a los fenómenos que presenta el motor como lo son: la vibración, los cambios de temperatura y los movimientos de traslado del banco.

Para lograr los requerimientos de seguridad de la estructura, se realizará un diseño previo utilizando un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D como Autodesk Inventor que permitirá determinar con seguridad las dimensiones de la

estructura. Es importante mencionar que el diseño de la estructura del banco se somete a simulaciones de cargas y de esta manera verificar su resistencia.

- Construcción y ensamble del banco

Siguiendo con el diseño establecido, se realizan los cortes determinados en el perfil de acero y se procederá a soldar los componentes de la estructura.

- Verificación de funcionamiento del motor

Se revisará el motor mecánicamente mediante el desarme general para revisar el estado de sus partes y el funcionamiento de los sistemas. Se procederá al detalle de pintura para la fácil identificación de los componentes del motor. El ensamble general de las piezas del motor diésel se realizará de forma manual, por los integrantes de proyecto (Pedro Suarez y Marco García)

Montaje de los diferentes sistemas, como son: refrigeración, alimentación (tanque combustible), sistema de escape, reja de seguridad y tablero de control. Este último se divide en subsistemas controlados por medio de sensores, como lo son: las revoluciones por minuto(rpm), presión de aceite, temperatura interna, nivel de carga de la batería y presión de combustible, estas medidas se recolectan por medio de sensores instalados en partes estratégicas ya definidas por el fabricante del motor diésel.

- Construcción de manual de laboratorio

Se realizará un manual correspondiente a los colores definidos en el mantenimiento y pintura de las piezas, para la fácil identificación de las partes del motor.

Dicho manual constara de los parámetros de funcionamiento del motor y de esta manera los futuros estudiantes podrán comparar los resultados obtenidos en las practicas académicas con los parámetros establecidos por el fabricante.

1. Marco teórico

La idea de un banco de prueba para motor diésel de un vehículo, solo es el primer paso a una investigación de grandes magnitudes como lo demuestra Rene Alejandro Ferreira Garzón, Edwin Rene Jurado Ballesteros y José Armando Ayala Gonzales en la UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (facultad de ingeniería) [11], donde implementaron bancos de prueba en motores de aviación, en este caso el motor PT6T-3. Según Denni Andrés Guzmán Mejía de la Universidad Internacional del Ecuador (Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz) [12], un banco de prueba necesita tener buenas bases y amortiguación debido a que genera vibraciones, movimientos, oscilaciones y estas pueden afectar su rendimiento, es por ello que una buena base es indispensable para no poner en riesgo la seguridad de los usuarios. Por su parte, el ducto de escape representa un tipo de riesgo físico ya que podría causar lesiones por quemaduras; la solución propuesta por el grupo de estudio de Ingeniería mecánica en la Universidad del Atlántico y Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia [13], fue aislar térmicamente mediante anillos disipadores de calor en fibra de vidrio. Para el desarrollo futuro del banco didáctico, se podrían enfocar los posteriores proyectos a obtener el mejoramiento técnico y de esta manera llegar a avances tecnológicos como lo muestra Castillo Medina A. G. y Silva Cortes J. P. en la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (facultad de mecánica) [14], donde se obtuvo un banco funcional que permite la calibración de bomba diésel con la mayor precisión, que incorpora un sistema de comunicación inalámbrica Bluetooth y un sistema automático de acondicionamiento de temperatura para el fluido.

1.1 Factores medibles en el funcionamiento del motor Diesel

1.1.1 Revoluciones por minuto (rpm).

Los rpm son un factor determinante, ya que evita la aparición de daños irreversibles a la estructura y el funcionamiento del motor; son el número de vueltas que da el cigüeñal por cada minuto. En un motor diésel oscilan entre 3.000 a 4.000 rpm en funcionamiento normal. El tacómetro es el utiliza para medir las rpm de un motor [15].

1.1.2 Presión de aceite.

La pieza encargada de este proceso es la bomba de aceite, la cual causa una cierta presión capaz de bombear el líquido a todo el sistema de lubricación, hay factores que influyen en el funcionamiento, como por ejemplo las características propias del aceite o la misma empaquetadura de la bomba [16].

1.1.3 Temperatura interna del motor.

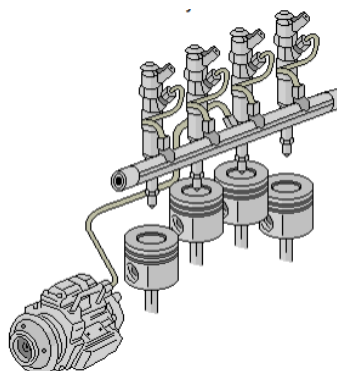
Los motores diésel son sensibles a los cambios de temperatura del combustible. En un periodo de funcionamiento extenso, el combustible depositado en el tanque de alimentación se va a calentar, esto se debe al combustible que ingresa al tanque por retro flujo, ocasionando una mínima pérdida de potencia, aproximadamente un 1% para un aumento de 6°C (10°F) por encima de 65°C (150°F). En los climas tropicales es notorio este comportamiento [17].

Los sistemas de refrigeración de agua contribuyen a regular la temperatura del motor, esto se produce debido al paso del agua por el radiador; permitiendo disipar calor por medio del flujo de aire que produce el ventilador del motor.

1.1.4 Presión de combustible.

El combustible representa aproximadamente el 75% del costo de operación. La calidad del combustible puede afectar el motor radicalmente, ya que puede ocasionar problemas mecánicos prematuros o un rendimiento disminuido. La bomba de inyección es la encargada de suministrar el combustible a una presión considerable, de tal forma que los inyectores puedan pulverizarlo el combustible y facilitar el proceso de autoignición [18]. En la Figura 1, se puede apreciar el sistema de inyección empleado en los motores diésel.

Figura 1. Sistema de inyección en un motor Diesel. Fuente [19].



1.1.5 Nivel de carga de la batería.

Las baterías poseen una carga inicial (nuevas) de 17,0 V, se puede decir que estas, se auto descargan mientras están almacenadas y esto conlleva a procesos de recarga; la tensión de una batería ya cargada tiende a superar los 16 V estando en carga. Una batería en buen estado completamente cargada alcanzará los 16,5 V [20]. En la Tabla 1, se puede apreciar el comportamiento del voltaje con respecto al porcentaje de carga, teniendo en cuenta que el nivel necesario de tensión para encender un motor de combustión oscila entre 12V a 13V.

Tabla 1. Comportamiento normal de carga de batería. Fuente [20].

PORCENTAJE DE ESTADO DE CARGA VS. VOLTAJE A CIRCUITO ABIERTO										
Porcentaje de carga %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Voltaje a circuito abierto 12V	12,7	12,6	12,50	12,40	12,2	12,1	11,96	11,81	11,66	11,51

1.2 Banco de prueba.

El principal funcionamiento de un banco didáctico es monitorear las prestaciones y las características de funcionamiento de un motor. Los motores fabricados en serie necesitan de procesos adecuados de funcionamiento, así que se implementan este tipo de máquinas de tal forma que se garantice el funcionamiento del motor después de ser montado en el vehículo.

Un soporte apropiado es la parte principal si el objeto de estudio está enfocado al comportamiento del motor. Existen varios tipos de bancos, dependiendo el enfoque del estudio que se va a realizar, como, por ejemplo, cuando se quiere realizar un análisis del sistema motor-transmisión se emplean bancos de rodillos que sirven de apoyo a las ruedas. También se utilizan bancos donde se realiza un montaje por medio de juntas, que conecta un freno dinamométrico al motor y de esta forma verificar el comportamiento del motor [21].

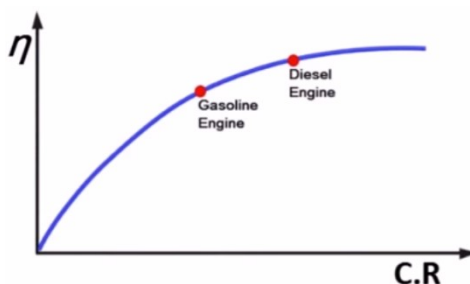
1.3 Motor diésel.

Creado por Rudolf Diesel, principalmente fue propuesto para funcionar con carbón pulverizado; puede funcionar a 2 o a 4 tiempos, y en comparación con otros motores tiene un rendimiento superior y se considera el menos contaminante [22].

Se define como una máquina de encendido espontáneo del combustible, causado por la elevada compresión de aire en el cilindro o precámara de combustión; dicha presión es de tal magnitud que el aumento de temperatura al final de la carrera de compresión genere un encendido espontáneo al combustible inyectado. Por esta razón el motor diésel también es denominado como motor de compresión e inyección.

La relación de compresión sin riesgo de autoignición se produce por la compresión del aire en las cámaras de combustión, pero en un motor a gasolina no es probable tal relación de compresión; a mayor relación de compresión, mejor es la eficiencia del ciclo, por este motivo los motores diésel consumen menos combustible. En la Figura 2 se puede observar el comportamiento de la compresión con respecto a la eficiencia, notando claramente que el motor diésel tiene un mejor desempeño que el motor a gasolina.

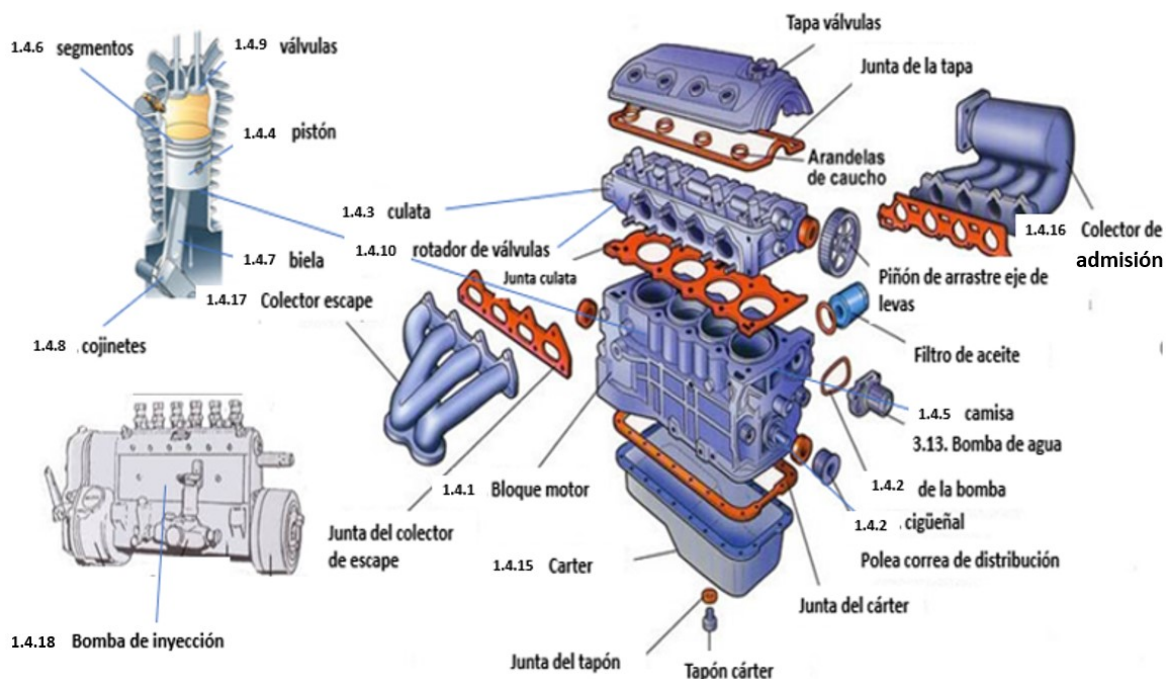
Figura 2. Gráfica de relación de compresión vs eficiencia. Fuente [23]



1.4 Partes del motor diésel.

Todas las partes del motor son de vital importancia para el funcionamiento óptimo de este, de manera tal que, al realizar alguna intervención de mantenimiento mecánico, se debe ser muy cuidadoso para no afectar ninguna de las tolerancias entre las piezas y de esta manera no afectar el funcionamiento mecánico, para obtener un rendimiento eficiente en el motor diésel. En la Figura 3, se puede apreciar el despiece de los componentes característicos de un motor diésel.

Figura 3. Despiece de un motor diésel. Modificado a partir de [24]



1.4.1 Bloque motor

Es la estructura básica del motor, en la que van alojadas las partes internas, y las partes externas se montan en él. Puede llevar los cilindros en línea o en forma de V, algunas traen las camisas del cilindro mecanizadas al mismo. Por lo general son hechos de fundición de hierro o aluminio, incorpora conductos para el refrigerante, apoyos de los cojinetes de bancada y guías de encaje para el ensamble con la culata. Ver figura 3, numeral 1.4.1.

1.4.2 Cigüeñal.

El cigüeñal se puede considerar como una serie de pequeñas manivelas, una por cada pistón. Su función es cambiar el movimiento alternativo producido por las explosiones del combustible, en movimiento rotativo. El pistón puede moverse gracias a las características físicas de este, debido a que ocupa la línea axial del eje. Para el montaje se apoya en los cojinetes de bancada en el bloque. En un extremo

del cigüeñal, va el engranaje de distribución en algunos casos forma una sola pieza y al otro extremo esta forjado y mecanizado el plato de anclaje del volante.

En los motores en V se realiza el montaje de una biela más para cada muñequilla y de esta manera suplir la cantidad de cilindros que posee un motor de este tipo. Ver figura 3, numeral 1.4.2.

1.4.3 Culata.

En esta van ubicadas varias piezas, como lo son: los balancines, inyectores y montaje de las válvulas; las cuales se accionan por un rotador de válvulas que va sincronizado al volante del cigüeñal. Estas a su vez ayudan a controlar el cierre de los cilindros. Posee orificios que pertenecen a los tornillos de apriete los cuales ajustan la culata al bloque [25]. La culata tiene válvulas de admisión y de escape, también incorpora orificios por donde circula el agua y de esta manera evita temperaturas que puedan ocasionar daños estructurales al material que la compone, las culatas normalmente se construyen en hierro fundido, aluminio o en aleación ligera. La junta de culata es importante en el proceso de ensamblé con el bloque. Ver figura 3, numeral 1.4.3.

1.4.4 Pistón

Es un embolo cilíndrico que se ubica al interior del cilindro de un motor; dicho cilindro permite un deslizamiento que sube y baja. Son generalmente de aluminio, en este van alojados de dos a cuatro segmentos que permiten la lubricación y el sello de presión dentro de la cámara de combustión. Para unir el pistón a la biela se utiliza un bulo, el cual se asegura por medio de pines auto - tensados a cada extremo de este. Ver figura 3, numeral 1.4.4.

1.4.5 Camisas

Son cilindros en los cuales se permite el movimiento de los pistones. Pueden ser mecanizadas directamente en el bloque o intercambiables. En motores refrigerados

por líquido, suelen tener insertados en la parte inferior unos anillos tóricos de goma los cuales sellan las cámaras de refrigeración. Para asegurar su perfecto asentamiento en la parte superior lleva una pestaña que se inserta en un rebaje del bloque. Suelen ser de hierro fundido y tienen la superficie interior endurecida por inducción [26]. Ver figura 3, numeral 1.4.5.

1.4.6 Segmento

Son piezas circulares metálicas que van alojadas en las ranuras del pistón, son los encargados de generar un sello hermético móvil entre el área de lubricación y las cámaras de combustión; esta reacción se obtiene debido a que los segmentos funcionan de manera auto - tensada entre el pistón y la camisa.

La función de cada segmento depende de la ubicación en las ranuras del pistón, estos pueden ser de compresión o de engrase, dependiendo el diseño del fabricante. El segmento superior está diseñado para evitar fugas de gases y el segmento inferior está diseñado para el control de la película de aceite existente en las paredes de la camisa. Ver figura 3, numeral 1.4.6.

1.4.7 Biela

Encargadas de transmitir la fuerza generada en la carrera de explosión, desde el pistón al cigüeñal; en un extremo va conectado el pistón por medio del bulón y por el otro posee dos casquillos que permiten girar libremente sobre el cigüeñal. La biela está diseñada para absorber las fuerzas dinámicas necesarias para poner el pistón en movimiento y pararlo al principio y final de cada carrera. Ver figura 3, numeral 1.4.7.

1.4.8 Cojinetes

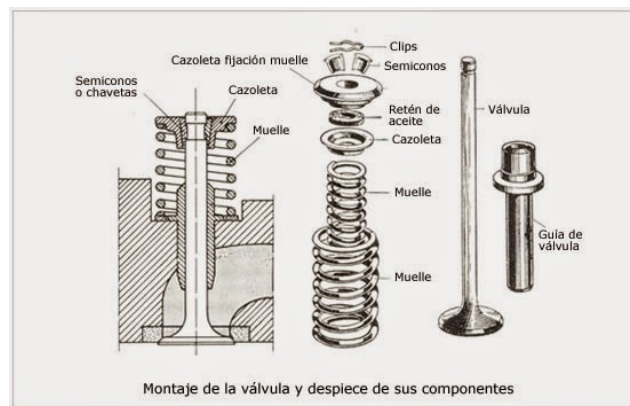
Son las piezas de apoyo entre las muñequillas y el bloque del motor. Los cojinetes llevan un orificio en su mitad superior, por el cual ingresa el aceite lubricante, también posee una ranura que dispersa el aceite de manera uniforme en la superficie de trabajo y así evitar un desgaste prematuro, el orificio de aceite

coincide con el conducto de lubricación del bloque. Para evitar un movimiento hacia adelante o hacia atrás, estas incorporan unas lengüetas que sirven como guía, para evitar efectos negativos de las fuerzas de empuje creadas al momento de la explosión del combustible. Normalmente los cojinetes se hacen de aleaciones de aluminio. Ver figura 3, numeral 1.4.8.

1.4.9 Válvulas

Existen dos tipos de válvulas, de admisión y de escape; la de admisión suele ser de mayor tamaño que la de escape. Encargadas de controlar el ingreso de aire limpio y expulsar los gases de escape en el momento oportuno de cada ciclo. en la válvula se identifican las partes que la componen, como lo son: pie de válvula, vástago y cabeza. Las válvulas se abren gracias a la rotación del cigüeñal, el cual transmite movimiento al árbol de levas o rotador de válvulas y se cierran por medio de un resorte. La posición de la leva durante la rotación determina el momento en que ha de abrirse la válvula. En la Figura 4, se puede apreciar el despiece del correspondiente montaje de una válvula. Ver figura 3, numeral 1.4.9.

Figura 4. Montaje válvulas. Fuente [27]



1.4.10 Rotador de válvulas

Es un árbol de levas que permite abrir las válvulas en el momento preciso, estos a su vez van sincronizados al cigüeñal por medio de los engranajes de repartición ubicados en la parte delantera del motor. Este rotador gira a la mitad de la velocidad generada por el cigüeñal. Asimismo, según su situación varía el mecanismo empujador de las válvulas. Fabricados por lo general de acero dulce de bajo contenido en carbono. Ver figura 3, numeral 1.4.10.

1.4.11 Engranajes de distribución

El engranaje motriz del sistema es el cigüeñal, este a su vez satisface al eje de levas de la bomba de inyección, árbol de levas y ejes compensadores, estos accesorios están sincronizados entre sí. Lo anterior se puede evidenciar al hacer coincidir las marcas del engranaje con las del bloque. Ver figura 3, numeral 1.4.11.

1.4.12 Bomba de aceite

Se localiza en el cárter el cual almacena el aceite; el cigüeñal es el encargado de transmitir el movimiento rotativo por medio de un engranaje a la bomba y de esta manera controlar la presión adecuada y bombear aceite para lubricar partes móviles del motor. El aceite lubricante, beneficia las paredes del pistón, cojinetes de biela y cojinetes de bancada, el flujo principal de la bomba es dirigido al cigüeñal. Ver figura 3, numeral 1.4.12.

1.4.13 Bomba de agua

Es la encargada de hacer circular el agua o refrigerante por la culata, bloque y radiador. El paso del agua o refrigerante a través del radiador, trasfiere el calor del motor al aire que circula entre las celdas del radiador, esto se produce gracias al flujo que genera el ventilador del motor. Ver figura 3, numeral 1.4.13.

1.4.14 Amortiguadores

Las fuerzas producidas por la explosión y recuperación durante el ciclo, producen vibraciones torsionales, este fenómeno se presenta en todos los motores de combustión interna. Por tal razón se necesita un material amortiguador conveniente, como lo es el caucho. Los amortiguadores son soportes de caucho, capaces de soportar las vibraciones producidas por el motor. Ver figura 3, numeral 1.4.14.

1.4.15 Carter

Es un recipiente para el aceite lubricante, está ubicado en la parte inferior del motor, por lo general fabricado en aleación de aluminio o acero. Últimamente se han desarrollado avances de esta pieza fabricada en magnesio ya que este material es sumamente ligero. Ver figura 3, numeral 1.4.15.

1.4.16 Colector de admisión

El sistema de admisión es el conjunto de dispositivos que permiten que ingrese el aire comburente a las cámaras de combustión del motor [28.] Las funciones principales de la admisión son: Filtrar el aire atmosférico de forma que llegue limpio al motor, medir y regular la cantidad de aire que formará la mezcla explosiva, distribuir adecuadamente el aire entre los puertos de admisión del motor. Ver figura 3, numeral 1.4.16.

1.4.17 Colector de escape

Es un conjunto de tubos encargado de recoger los gases de escape de los cilindros a la salida de la culata y de esta forma se agrupan en un único tubo llamado exosto. Para evitar fugas de este gas el acople colector de escape – culata debe llevar sus juntas o empaques. Debido a la exposición de presión y alta temperatura los

colectores de escape se fabrican con hierro fundido con estructuras perlíticas. Ver figura 3, numeral 1.4.17.

1.4.18 Bomba de inyección.

Es el elemento principal del sistema de inyección del motor diésel, capaz de elevar la presión de un fluido. El objetivo principal es inyectar a presión el combustible gasoil suficientemente pulverizado, condición imprescindible para su inflamación espontánea. Básicamente han existido dos tipos de bombas para diésel, bombas en línea y bombas rotativas. Ver figura 3, numeral 1.4.18.

1.4.19 Inyector.

Pulveriza e inyecta el combustible gasoil dentro de la cámara de combustión. Estos van roscados a la culata, su fabricación es en acero de alta calidad.

1.5 Tipos de inyección en un motor diésel

Durante los últimos años la evolución de los motores Diesel y sus estudios de comportamiento y eficiencia han marcado un amplio desempeño en una de sus principales fuentes de alimentación la cual es la inyección de combustible, dando una clasificación en dos tipos, directa e indirecta:

1.5.1 Sistema de inyección directa

Los sistemas de inyección directa son utilizados en la actualidad en motores Diesel y a gasolina para mejorar su desempeño y economía, tiene como característica especial introducir el combustible directamente en la cámara de combustión esto hace que por su eficacia de entrega de combustible los motores se puedan diseñar con cámaras de combustión más pequeñas ya que el aprovechamiento de la energía química aportada por el combustible ayuda a que el motor genere una energía mecánica y térmica de mayor capacidad y autonomía. En la actualidad este

sistema de inyección se está utilizando tanto en vehículos de pasajeros como en el transporte de carga. Para ello se utilizan bombas que ayudan a elevar su presión he inyectores mecánicos y piezoeléctricos que han mejorado la capacidad de pulverización, cabe resaltar que este sistema produce gases más limpios por lo tanto ayuda a la capa de ozono, el escape de material micro particulado es menor ya que la quema de combustibles fósiles es más eficaz [29].

1.5.1 Sistema de Inyección indirecta

Los motores de combustión interna que utilizan inyección indirecta tienen como característica un diseño de cámara de combustión más grande debido a que el combustible llega mezclado con aire al cilindro, sin embargo este sistema pierde calor y a su vez es menos eficiente que la inyección directa debido al desaprovechamiento de la energía química, es por esto que los motores se deben diseñar con grandes cámaras de combustión para que pueda alcanzar temperaturas más altas, por ello la economía de combustible es menor y requiere un sistema de precalentamiento directamente en la precámara para que su arranque en frío no sea deficiente y provea el calor necesario para ayudar a encender la mezcla [29].

1.6 Principales fallas en los motores diésel

En un motor de combustión interna hay muchas fallas, en algunos casos dependen de factores de mantenimiento preventivo y predictivo; estas fallas se clasifican en corto, mediano y largo plazo. Una de las fallas más común es el descuido en el nivel y cambio de aceite, ya que puede deteriorar las piezas móviles del motor las cuales son de gran importancia para su óptimo desempeño, a continuación, se nombran las principales fallas de un motor Diesel:

1.6.1 Baja presión de compresión

La baja compresión de un motor diésel se detecta por la dureza en el encendido cuando el motor está en una temperatura ambiente ya que al comprimir el aire no se produce con gran eficiencia, esto tarda en la demora de encendido y en la pérdida de potencia. Algunos motores producen ruidos de golpeteo al acelerar debido a las holguras de anillos pistón y cilindro, una vez se encienden los niveles de opacidad de los gases de escape son abundantes y de color blanco debido a la falta de quema, ya que la eficiencia del motor baja considerablemente y la explosión de la mezcla en algunos casos no se hace cuando debe ser sino cuando el pistón ha regresado de punto muerto superior.

1.6.2 Inyección prematura del combustible

Esta falla es causada cuando el combustible es inyectado a destiempo o de forma prematura, se detecta cuando el ruido del motor diésel es más fuerte o produce golpeteo e inestabilidad, lo anterior es como resultado de que se enciende la mezcla cuando el aire comprimido no tiene la temperatura ideal dentro de la cámara de combustión, en algunos casos el encendido es demorado o rogado [29].

1.6.3 Retardo del tiempo de la inyección del combustible

En este caso el proceso interno de la inyección dentro del motor presenta una demora en la entrega de combustible debido a que el combustible es entregado cuando empieza a bajar el pistón esto conlleva a que a su vez la temperatura y presión ya no sea la misma, por consiguiente el combustible no se quema en su totalidad, lo que conlleva a que el motor a través del tubo de escape expulse humo blanco y gotas de combustible sin quemar [29].

1.6.4 Inyección Excesiva de combustible

En un motor diésel tiene que haber una mezcla estequiométrica bien balanceada para que al momento de mezclarse el aire y el combustible en la cámara de combustión no se presente exceso de inyección ya que esto conlleva a la disminución de oxígeno y por este motivo se calcina la mezcla dando como resultado humo negro y pérdida de potencia debido a que el combustible no se quema bien.

Un motor diésel funciona bien con una alta compresión y una apropiada entrega de combustible son dos condiciones generales para la combustión y rendimiento normal de dicha maquina térmica [29].

1.6.5 Humo excesivo en marcha mínima

Algunas fallas se detectan por inspección visual y diagnóstico previo:

- Tubos de combustible averiados.
- Toberas obstruidas.
- Inyectores en mal estado.
- Ajuste de control de paso de combustible.
- Anillos y cilindros con desgaste.
- Largos periodos con el motor en marcha mínima.
- Filtraciones de aceite y agua por las juntas.
- Válvulas en mal estado.
- Combustible de mala calidad.

1.6.6 Baja presión de aceite

La falla en este sistema ocasiona que no todas las partes internas estarán bien lubricadas, por lo cual se generara un desgaste debido a la fricción directa entre piezas. En la Tabla 2, se pueden apreciar algunas de las fallas, afectaciones y recomendaciones que involucran al sistema de lubricación.

Tabla 2. Causas y afectaciones del sistema de lubricación. Fuente [30]

Causa	Afectaciones producidas y recomendaciones
Bajo nivel del aceite	Puede producir daños integrales en el motor. Se tendrá que añadir más aceite.
La bomba no funciona correctamente	Puede ocasionar que se reduzca la vida útil del motor. Se recomienda revisión a detalle del funcionamiento de la bomba.
El aceite puede estar demasiado caliente	Deriva en un desgaste mayor del motor, problemas de temperatura. Se debe comprobar la viscosidad del aceite y los medidores de temperatura.

1.7 Deformación.

Considere un cuerpo sometido a la acción de fuerzas aplicadas, y con vínculos suficientes como para impedirle movimientos de sólido rígido. Dado que no existe material alguno que sea infinitamente rígido, la acción de las fuerzas se traduce en que el cuerpo se deforma, es decir, cambia de tamaño y de forma [29].

1.8 Momento de inercia.

Indica la capacidad de giro de la sección de un sólido con respecto a un eje. Cuanto mayor sea el radio de giro, mayor será el momento de inercia, distintivo del sólido [31].

1.9 Cortante de un material.

También llamado de corte o de cizalla, fenómeno que se presenta en un prisma mecánico como lo son las vigas, este, es el esfuerzo interno o resultante producida por las tensiones paralelas a la sección transversal [31].

2.Desarrollo metodológico

Teniendo en cuenta que la estructura soportará diferentes fuerzas, esta se dimensiona según los requerimientos de exigencia del motor, por lo tanto, se realiza el diseño pieza a pieza en el programa Autodesk inventor; para de esta manera producir un soporte factible para el desarrollo de la actividad de funcionamiento del banco didáctico. De igual forma, su ergonomía debe ser un factor imprescindible en las características del diseño propuesto.

De acuerdo con los objetivos se va a realizar el desarrollo pertinente para el banco de motor diésel así:

2.1 Fase 1. Diseño de la estructura del banco

En el montaje del banco didáctico para motor diésel, es primordial una estructura que soporte las fuerzas producidas por los componentes característicos requeridos para el funcionamiento, como lo son: motor, radiador, batería, tanque de alimentación (ACPM) y tablero de control.

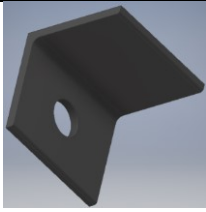
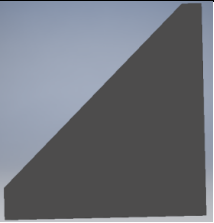
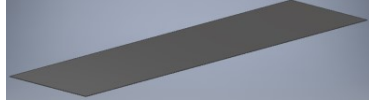
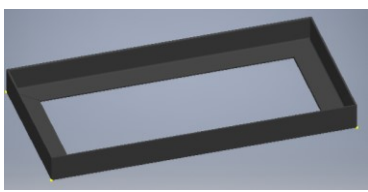
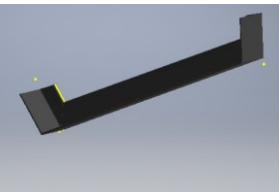
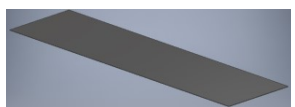
Las dimensiones de la estructura, al igual que la posición de las cargas sobre ella, influyen para realizar los estudios y prever las reacciones que pueda tener. Para llevar a cabo estos estudios se realiza el diseño en el programa Autodesk Inventor, el cual permitirá visualizar el comportamiento de la estructura en las diferentes etapas de funcionamiento del banco didáctico. Pensando en la seguridad de los usuarios, se procede al diseño de una reja de seguridad la cual evitara accidentes por quemaduras o por contacto directo con las piezas móviles del motor.

2.1.1 Diseño de piezas que componen la estructura.

En la Tabla 3, se observan en detalle las piezas de la estructura, la cual hace parte fundamental en el banco didáctico.

Tabla 3. Diseño de las partes estructurales del banco didáctico.

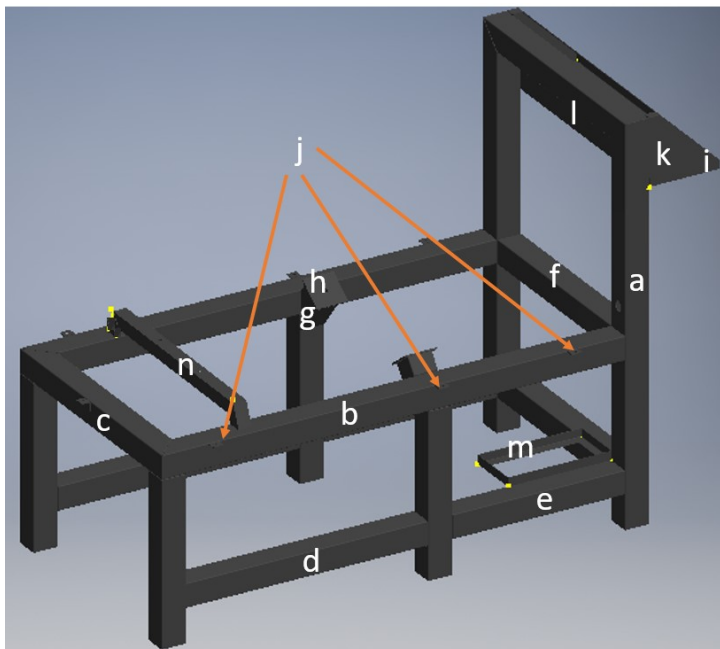
Despiece de diseño estructura para el banco didáctico		
 <p>a) Columna 1300mm</p>	 <p>b) Viga 1400mm</p>	 <p>c) Viga 700mm</p>
 <p>d) Viga 1235mm</p>	 <p>e) Viga de 495mm</p>	 <p>f) Viga 560mm</p>
 <p>g) Tubo soporte del motor</p>	 <p>h) Planchuela soporte del motor</p>	 <p>i) Estructura del tablero</p>

 <p>j) Oreja de ajuste para reja de seguridad</p>	 <p>k) Lamina lateral del tablero de control</p>	 <p>l) Laminas rectangulares del tablero de control</p>
 <p>m) Soporte batería</p>	 <p>n) Sopirte radiador</p>	 <p>o) La mina rectangular inferior de tablero de control</p>

Fuente: Autores.

Después del diseño correspondiente de cada pieza, se procede al ensamble sistemático de cada una de las partes anteriormente mencionadas (Véase Figura 5).

Figura 5. Ensamble del diseño de la estructura.

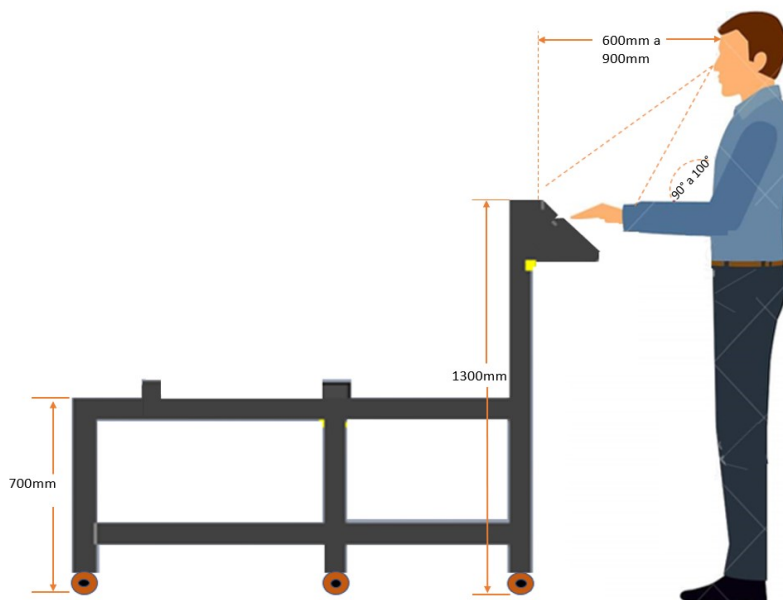


Fuente: Autores.

2.1.2 Diseño ergonómico de la estructura

En este caso el estudio ergonómico se enfoca en las condiciones de adaptación de una máquina, a las características físicas (se considera la altura promedio de los estudiantes entre 165cm a 180cm) y psicológicas del usuario. En la Figura 6, se puede observar una proyección del posicionamiento del operario del banco didáctico.

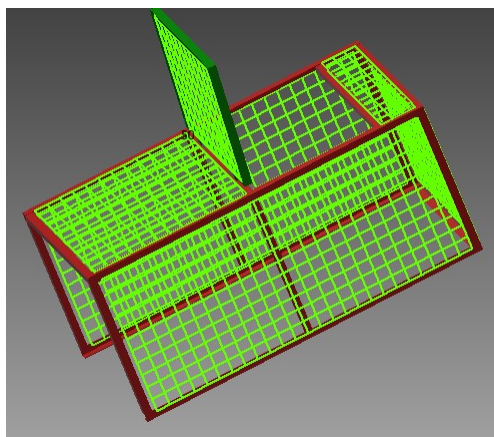
Figura 6. Proyección ergonómica de la estructura. Modificado a partir de [32]



2.1.3 Diseño reja de seguridad.

La reja de seguridad evitara accidentes por quemadura o por contacto directo con las piezas móviles del motor. Se diseña de tal forma que tenga una puerta de acceso para las mediciones de nivel de aceite (suministrar aceite si es necesario) y de agua. (Véase Figura 7).

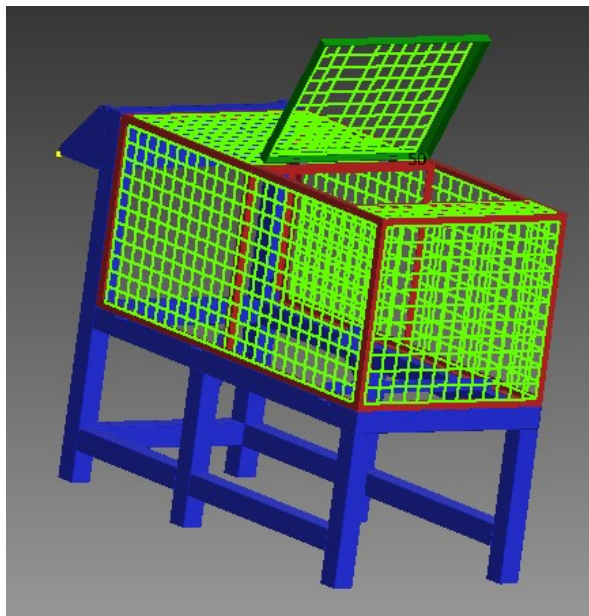
Figura 7. Diseño reja de seguridad.



Fuente: Autores.

El diseño de la estructura y la reja de seguridad es un conjunto que complementa el funcionamiento del banco didáctico y la seguridad de los estudiantes, en la Figura 8, se puede apreciar el montaje que se realizará durante el desarrollo del proyecto.

Figura 8. Proyección ensamblaje del banco didáctico.



Fuente: Autores.

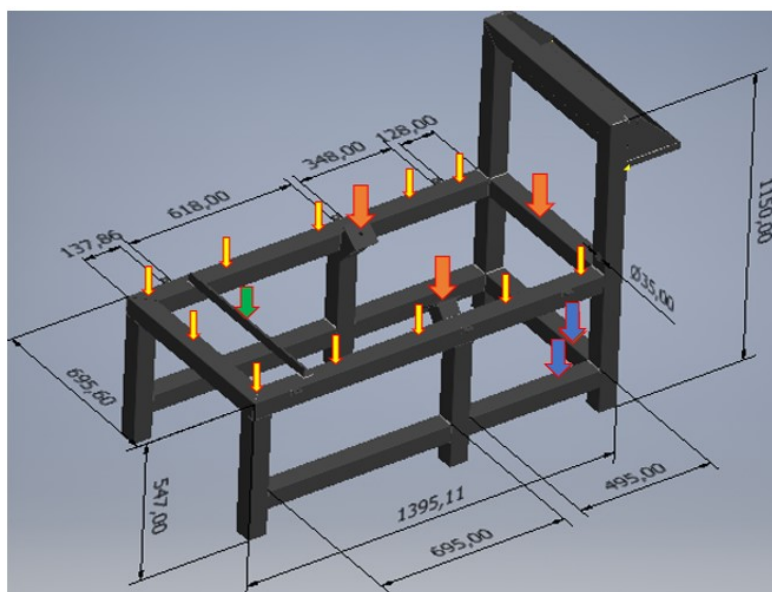
2.1.4 Dimensiones, peso y cargas estáticas.

Las dimensiones del banco deben ser apropiadas, para la adecuación de este en el lugar asignado para el funcionamiento dentro de las instalaciones de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja. En la Tabla 4, se exponen las dimensiones propuestas y las masas que tendrá que soportar la estructura.

Tabla 4. Dimensiones y características de la estructura.

Dimensiones del banco didáctico	h1 = 1150mm h2 = 550mm L = 1400mm Ancho = 700mm
Masa del motor	m1 = 456 Kg  (carga estática 4468.8)
Masa de radiador	m2 = 24 Kg  (carga estática 235.2N)
Masa de batería	M4= 17 Kg  (carga estática 166.6N)
Reja de seguridad	m3 = 39 Kg  (carga estática 382.2N)

Fuente: Autores.

Figura 9. Dimensiones y características de la estructura.

Fuente: Autores.

En la Figura 9, se pueden visualizar las dimensiones características del diseño propuesto, de igual forma se representan por medio de flechas, los puntos en

donde estará apoyado el motor diésel y los componentes adicionales que soportara la estructura (batería, radiador, reja de seguridad), de esta manera se pueden determinar las cargas a las que estará sometida la estructura y así verificar por medio del programa Autodesk Inventor que la estructura será segura durante y después de las practicas académicas.

2.1.5 Selección del material para la estructura de soporte

Se opta por utilizar un material resistente, de fácil acceso y económico; en este caso se proponen vigas de hierro A50, de 70X70mm, calibre 14 ya que es este material el objeto de estudio en los diseños previamente mencionados. El objetivo del estudio es garantizar que el material seleccionado funciona de forma adecuada, durante el trabajo del banco didáctico. En la Tabla 5, se toma en cuenta la información del hierro seleccionado para este estudio; el límite elástico es el valor que más interesa, ya que con éste se hallara la cortante del tubo objeto de estudio.

Tabla 5. Propiedades mecánicas de aceros estructurales según norma americana. Fuente [33]

Normas	Calidades	Limite elástico	Resistencia a la tracción	Alargamiento mínimo	
		MPa [ksi]	MPa [ksi]	Min. 200mm [8in]	Min. 50mm [2in]
A36-05	Grado36*	≥250 [36]	400-550 [58-80]	20	21
A572-07	Grado 42*	≥290 [42]	≥415 [60]	20	24
	Grado 50*	≥345 [50]	≥450 [65]	18	21

	Grado 55*	≥380 [55]	≥485 [70]	17	20
	Grado 60*	≥415 [60]	≥520 [75]	16	18
	Grado 65*	≥450 [65]	≥550 [80]	15	17

2.1.6 Verificación matemática del material propuesto para la estructura.

Hay que tener en cuenta varios factores dentro del estudio analítico de la estructura, como lo es el momento de inercia, el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación (ver Ecuación 1).

$$\bar{I} = \frac{1}{12} \cdot bh^3 \quad (1)$$

Donde:

- \bar{I} = Momento de inercia..... [mm⁴]
- b = Base..... [mm]
- h = Altura..... [mm]

De esta manera se puede calcular la fuerza cortante (V) que el material posee, esto se realizará por medio de la Ecuación 2.

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{\bar{I} \cdot b} \quad (2)$$

Donde:

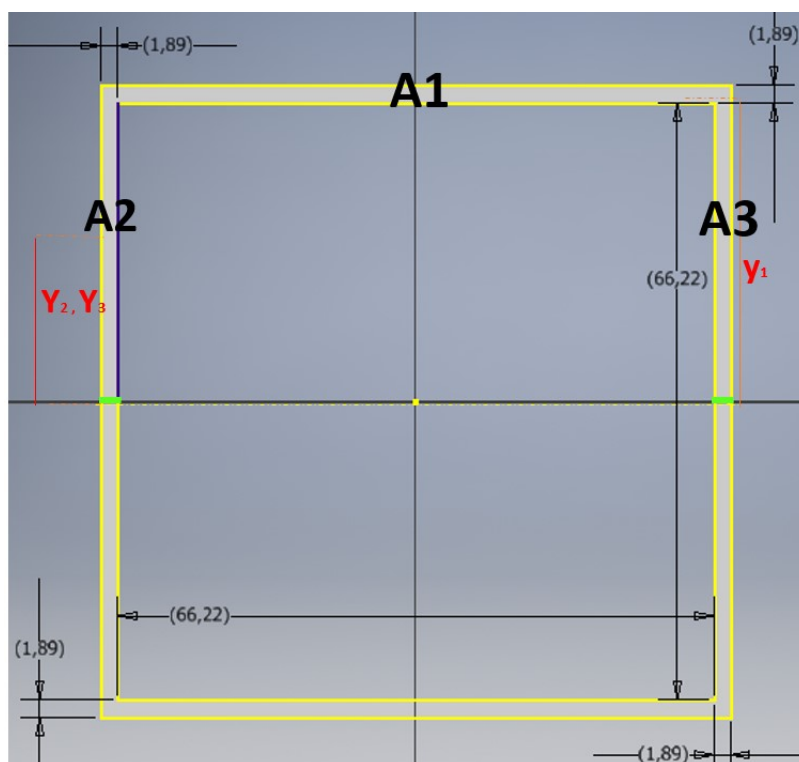
- τ = Esfuerzo máximo..... [MPa]
- V = Fuerza cortante..... [N]
- Q = Momento en primer orden..... [mm³]
- \bar{I} = Momento de inercia..... [mm⁴]

- b = Base..... [mm]

2.1.7 Cálculos de la fuerza cortante del material.

Las dimensiones del tubo seleccionado son un factor importante para hallar el esfuerzo cortante que soporta este material (véase Figura 10).

Figura 10. Dimensiones del tubo de hierro A50.



Fuente: Autores.

Para hallar el cortante del material seleccionado, se utiliza la Ecuación 2:

$$\tau = \frac{v \cdot Q}{I \cdot b}$$

Como se había mencionado en la Tabla 4, el límite elástico (τ) de este material es de 345 MPa. Por lo tanto, para hallar el momento de inercia se acude a la expresión:

$$b = 1,89\text{mm} (2) \quad \rightarrow \quad b = 3,78 \text{ mm}$$

$$\bar{I} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \rightarrow \quad \bar{I} = \frac{70 \cdot (70)^3}{12} - \frac{66,4 \cdot (66,4)^3}{12} \quad \rightarrow \quad \boxed{\bar{I} = 3,8 \times 10^5 \text{ mm}^4}$$

Entonces el momento en primer orden será:

$$Q = \Sigma A_y = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 \quad \rightarrow \quad Q = (70 \times 1,89)(34,14) + 2(1,89 \times 33,2)(16,6)$$

$$\boxed{Q = 6599,95 \text{ mm}^3}$$

Por lo tanto, la cortante (v) del material de estudio será:

$$v = \frac{\tau \cdot \bar{I} \cdot b}{Q} \quad \rightarrow \quad v = \frac{(345 \text{ MPa}) \cdot (3,8 \times 10^5 \text{ mm}^4) \cdot (3,78 \text{ mm})}{6599,95 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{v = 7,5 \times 10^6 \text{ N}}$$

Según el resultado de la fuerza cortante, se puede afirmar que el material seleccionado es el indicado para la construcción de la estructura, ya que este cortante es mucho mayor que las fuerzas producidas por los accesorios que componen el banco didáctico.

2.2 Fase 2. Construcción y ensamble del banco

Se procede a realizar la construcción de la estructura y el montaje del motor diésel sobre esta, al igual que los demás componentes necesarios para que el banco didáctico funcione de manera adecuada durante las prácticas académicas. Para realizar este procedimiento se corta el hierro utilizando ángulos de 45° y 90° , y de esta manera garantizar la unión por soldadura que se efectúa en las piezas que la componen.

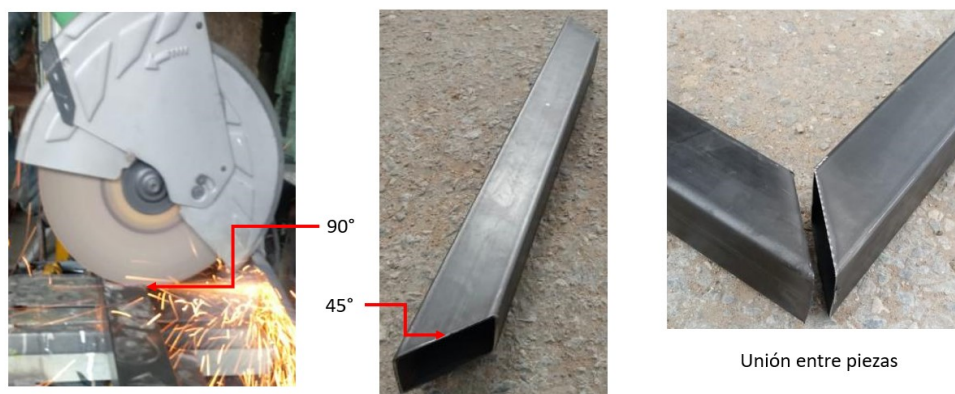
En el proceso de restauración del motor adquirido, se tiene rigurosidad en la revisión de las partes móviles del motor y de ser necesario cambiar las piezas que tienen un nivel de desgaste alto. Los manómetros son una parte importante en el

desarrollo de esta actividad, ya que se hace una conexión adecuada entre los sensores del motor, al tablero de control y de esta forma se verifica el comportamiento del motor en funcionamiento.

2.2.1 Corte del hierro.

Se corta el hierro según las medidas proyectadas en el programa de Autodesk Inventor, para garantizar la eficiencia de la estructura en el transcurso de funcionamiento del motor diésel utilizado en el montaje de este banco didáctico. La Figura 11, deja entrever los diferentes cortes del hierro según las especificaciones del diseño.

Figura 11. Cortes de tubería para estructura del banco didáctico.



Fuente: Autores.

2.2.2 Soldadura.

En la unión de la tubería, los cordones de soldadura deben ser precisos, para evitar daños colaterales a la estructura cuando el motor esté en funcionamiento, en este caso se utilizó la soldadura 6013, ya que posee propiedades favorables para la unión de aceros al carbono. En la Tabla 6, se pueden observar las características de este tipo de soldadura.

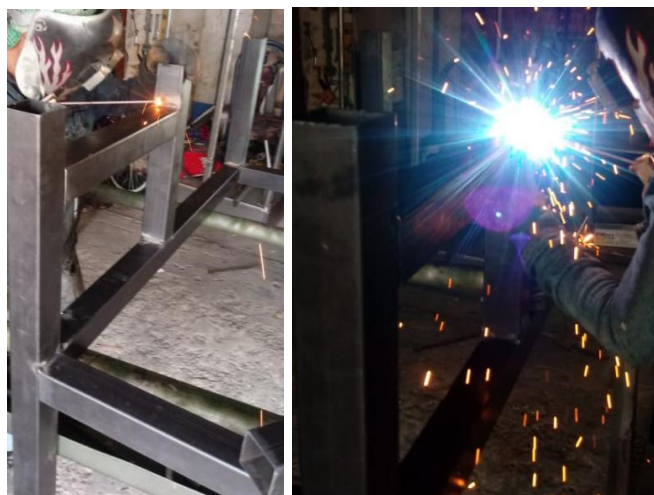
Tabla 6. Información general de la soldadura 6013. Fuente [34].

Composición química (tipos) del metal depositado				
CO, 11%; Mn 0,40%; Si 0,22%; P 0,015%; S 0,010 %				
Características típicas del metal depositado (según normas AWS: A%.1/A5.1M-04):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción: 518 MPa Límite de fluencia: 431 MPa Alargamiento en 50mm: 28%	430 MPa 330 MPa 17%	90 J a 20°C	No especificada	
Amperajes recomendados:				
Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Amperaje		Electrodos
		Min.	Max.	X kg aprox.
*2.4	300	40	90	52
*3.2	350	70	120	35
*4.0	350	120	190	22
*4.8	350	160	240	17

En el proceso de soldadura se debe ser cuidadoso ya que la aparición de poros es un riesgo considerable, teniendo en cuenta que esto puede producir grietas debido a las vibraciones ocasionadas por el motor. En la Figura 12, se puede observar la

técnica aplicada para soldar las diferentes partes de la estructura que se utilizara en el banco didáctico correspondiente al presente documento.

Figura 12. Unión por medio de soldadura 6013.



Fuente: Autores.

Después del proceso de corte, se procede a la construcción de la estructura, siguiendo los parámetros de medida ya planteados en el programa Autodesk Inventor. En la Figura 13, se puede apreciar el proceso de construcción de la estructura que soportara el motor, radiador, sistema de alimentación, sistema de suministro de energía y reja de seguridad.

Figura 13. Desarrollo de construcción de estructura.



Fuente: Autores.

2.2.3 Restauración del motor.

Para este proceso, se adquirió un motor diésel KIA JUPITER J2 (véase Figura 14), el cual se desarma por completo para revisar el estado interno de las piezas, y realizar el registro fotográfico que compone este documento. Se revisan todas las piezas a detalle para evitar fallas mecánicas en el funcionamiento del motor diésel. En la Tabla 7, se pueden identificar los parámetros del motor adquirido.

Figura 14. Motor KIA JUPITER J2



Fuente: Autores.

Tabla 7. Información referente al motor KIA JUPITER J2.

INFORMACION DEL MOTOR	Motor	J2
	Cilindrada	2665 cc
	Numero de cilindros	4. cilindros en línea
	Combustible	Diesel
Bomba de inyección	Alzado de leva	2.6 mm (1.02 pulg)
	Tipo	Tipo de distribución (VE)
	Punto de inyección	ATDC 5° (alzado de leva 1mm)
	Dirección de giro	Dirección opuesta a las agujas del reloj.
	Método de conducción	Tipo de piñón
	Presión de inicio de inyección	13.230 KPa (135Kg/cm ² . 1.918psi

Fuente: Catalogo motor.

En la tabla 8, se pueden visualizar los valores del ralentí de funcionamiento del motor diésel adquirido.

Tabla 8: Parámetros de ralentí del motor diésel KIA JUPITER J2.

Elementos	Especificaciones
Régimen de ralentí	700 – 750 rpm
Velocidad de ralentí	850 – 900 rpm


Fuente: Catalogo motor.

A parte de esto, se realiza una intervención de mantenimiento de pintura, lo cual ayudara a los futuros estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja, a identificar las partes externas del motor, ya que cada parte superficial lleva un color determinado.

2.2.4 Restauración del motor KIA JUPITER J2.

Después de la adquisición del motor, se procede al desarrollo de la actividad que compete a la revisión del estado de todas las piezas internas, y de esta manera evitar que se presenten fallas durante el funcionamiento del banco didáctico. En la Tabla 9, se puede apreciar a detalle el despiece y mantenimiento realizado a cada una de las partes.

Tabla 9. Despiece del motor KIA JUPITER J2.

 <p>Bloque motor.</p>	 <p>Cigüeñal del motor.</p>
 <p>montaje culata.</p>	 <p>Pistón motor Diesel.</p>



Bulón.



Camisa de un motor.



Segmentos del motor.



Biela de un motor Diesel.



Cojinetes de un motor Diesel.



Válvulas.



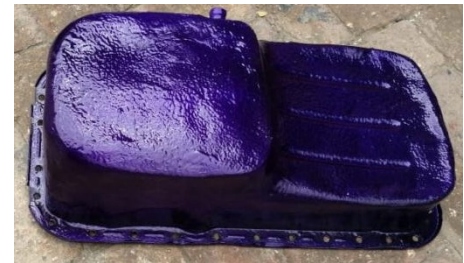
Rotador de válvulas de un motor Diesel.



Engranajes de distribución.



Bomba de aceite.



Carter del motor.



Múltiple de admisión

Colector de admisión.



Colector de escape.



Bomba de inyección rotativa



Exosto

Fuente: Autores.

El proceso de restauración del motor KIA JUPITER J2 fue exitoso, ya que se cumplió con el objetivo de revisión de las piezas internas y externas del motor. En la Tabla 10, se puede apreciar el cambio que hubo en el motor al ser restaurado.

Tabla 10. Comparación del motor adquirido VS restaurado.



Antes de intervención de mantenimiento.



Después de intervención de mantenimiento.

Fuente: Autores.

2.2.5 Instalación de manómetros en el tablero de control.

Para verificar el comportamiento del motor diésel, es necesario verificar por medidas manométricas los estándares del fabricante, por tal razón estos se instalan en el tablero de control (véase Figura 15).

Figura 15. Tablero de control.



Fuente: Autores.

2.3 Fase 3. Verificación de funcionamiento del motor

Los parámetros establecidos por el fabricante son valores de importancia al momento de realizar las pruebas de funcionamiento, ya que el motor no puede excederlos. De lo contrario se presenta una falla en el sistema activo del motor diésel.

Para verificar el comportamiento de los sistemas (rpm, presión de aceite, presión de combustible, temperatura interna del motor y nivel de carga de la batería), se realizan pruebas de funcionamiento a diferentes revoluciones por minuto y de esta manera obtener graficas del comportamiento de dichos parámetros en el banco didáctico mencionado en este documento.

2.4 Fase 4. Elaboración del manual – guía de laboratorio.

Para el correcto uso del banco didáctico, se debe tener claridad en el planteamiento de la guía de funcionamiento y de esta forma evitar fallas mecánicas o riesgos innecesarios a la integridad de los estudiantes.

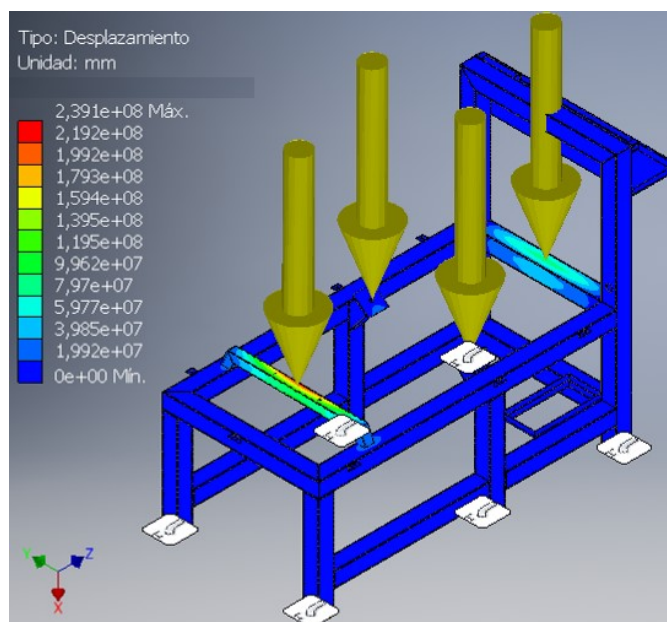
Se considera un mantenimiento de pintura al motor diésel, de tal forma que los estudiantes puedan identificar los colores y asociarlos con las piezas externas del motor; de esta manera será sencillo deducir la función que cada pieza.

3. Resultados y análisis.

3.1 Simulación de cargas desarrollada en el programa Autodesk Inventor.

Por medio del programa Autodesk Inventor, se realiza el ensayo de simulaciones de cargas, y de esta manera se verifica el comportamiento de la estructura, sometida a las fuerzas producidas por el motor y los componentes adicionales requeridos para que el banco didáctico funcione de manera óptima (véase Figura 16).

Figura 16. Resultado de simulaciones de cargas, programa Autodesk Inventor.



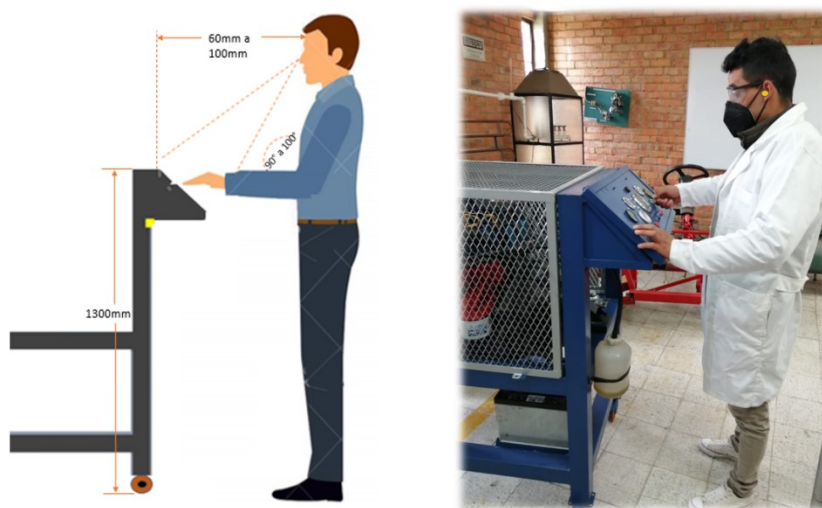
Fuente: Autores.

En la Figura anteriormente mencionada, se pudo determinar el comportamiento de la estructura por medio de la paleta de colores; en la cual el color rojo representa los puntos críticos, mientras que el color azul muestra los puntos menos afectados por las fuerzas producidas de los elementos que componen el banco didáctico.

3.2 Resultados del diseño ergonómico del banco didáctico para motor diésel.

Al contemplar la ergonomía de una máquina, se busca el beneficio del operario mientras esté llevando el proceso de desarrollo de la práctica académica. En la Figura 17, se puede visualizar que se cumple el diseño ergonómico a cabalidad, esto con el fin de generar un ambiente de trabajo adecuado y cómodo para los futuros estudiantes de la universidad Antonio Nariño sede Tunja.

Figura 17. Resultados ergonómicos del equipo de trabajo.



Fuente: Autores.

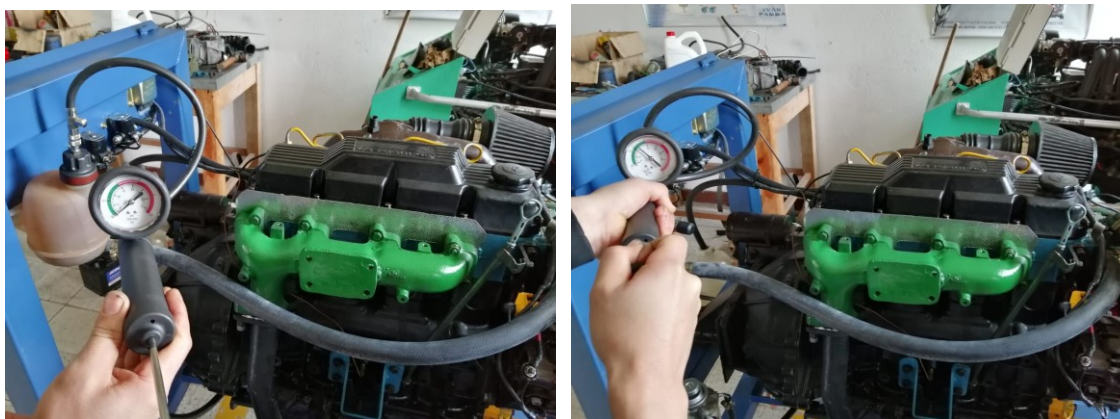
3.3 Verificación de funcionamiento del banco didáctico motor KIA JUPITER J2

3.3.1 Prueba de estanqueidad al motor diésel.

Para el desarrollo de esta actividad se utiliza un probador de fugas de radiador, el cual inyecta aire en el sistema de refrigeración acumulando una presión no mayor a 21 psi. Esta prueba se realiza para verificar que no hallan fugas en el sistema de recirculación del agua. En la Figura 18, se puede apreciar el montaje del probador

de fugas en el tanque de reserva del agua, al igual que la presión acumulada en el sistema de recirculación del refrigerante.

Figura 18. Prueba de estanqueidad del sistema de refrigeración.





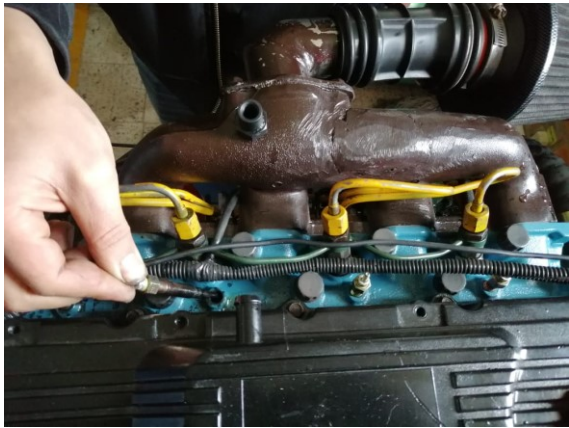

Fuente: Autores.

En la prueba de estanqueidad se pudo verificar que no se presento ningun tipo de fuga en el sistema de refrigeracion.

3.3.2 Prueba de compresion a los cilindros del motor.

Para esta prueba se utiliza un manómetro de compresión, es de importancia suspender el suministro de corriente a las válvulas al igual que desconectar el paso de combustible a los inyectores, después de esto se extraen una por una las válvulas de precalentamiento y en su lugar se rosca un adaptador de bujía el cual permitirá una conexión directa entre el manómetro y la cámara de combustión, En la Tabla 11, se puede apreciar el paso a paso de la prueba realizada.

Tabla 11. Procedimiento para realizar prueba de compresión al motor diésel.

	
<p>Suspender corriente de las bujías de precalentamiento.</p>	<p>Suspender paso de combustible.</p>
	
<p>Extraer válvula de precalentamiento.</p>	<p>Conexión de manómetro con la cámara de combustión.</p>

Fuente: Autores.

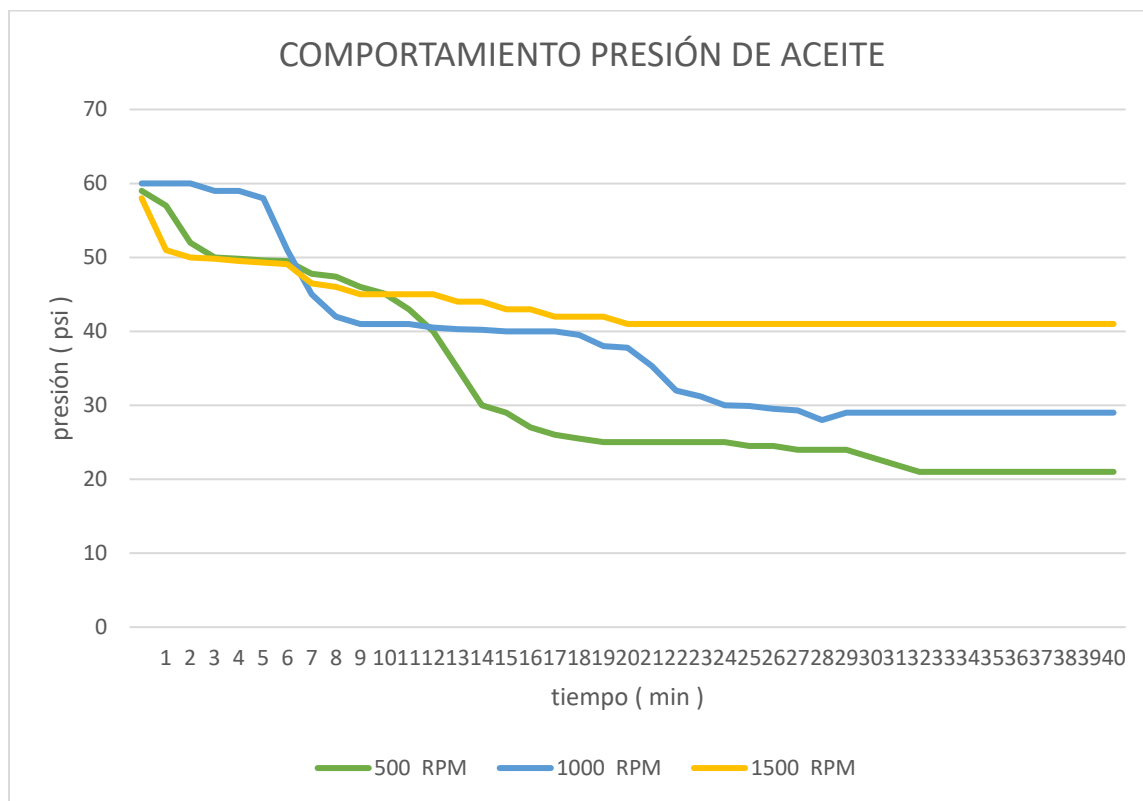
Después de esto, se pone en marcha el motor y se verifica la compresión del motor la cual debe estar entre 275 a 300 psi, lo cual fue confirmado en las pruebas realizadas a cada cilindro.

3.3.3 Análisis de los sistemas de motor diésel.

Para verificar el comportamiento del banco didáctico, se realizan pruebas de funcionamiento a diferentes revoluciones por minuto y de esta manera recopilar información que describa la conducta de cada uno de los sistemas. En las Gráficas siguientes, se compara el comportamiento del motor a 500rpm, 1000rpm y 1500rpm.

- Pruebas de presión de aceite:

Grafica 1. Presión de aceite.

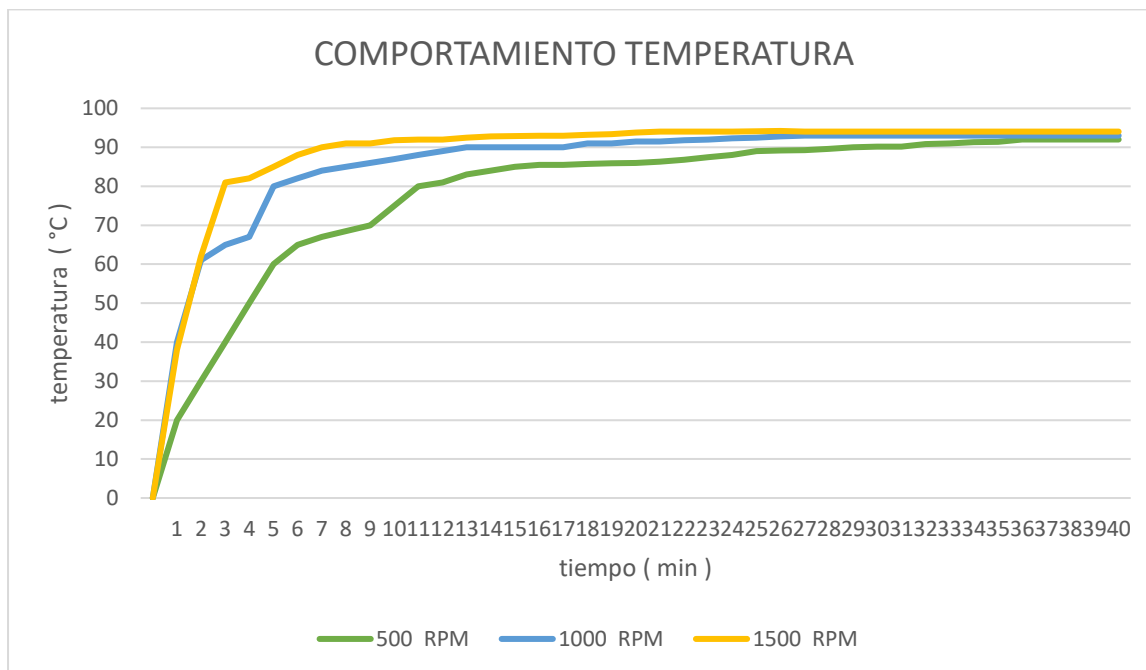


Fuente: Autores.

En la gráfica anterior, se puede visualizar que la presión de aceite disminuye desde el momento en que el motor se pone en marcha, esto se debe a la viscosidad del aceite en frío; a medida que el aceite se calienta la presión disminuye, ya que este fluye de manera más óptima por el sistema. A mayor frecuencia RPM, los parámetros del motor se estandarizan de manera más rápida; lo cual describe que a mayor RPM más aporte de calor tendrá el aceite y de esta manera la viscosidad del fluido será menor, produciendo una recirculación más rápida del aceite dentro del sistema de lubricación. También se puede ver que la presión en cierto punto se estandariza debido a la viscosidad del aceite a medida que se regula la temperatura de este. Es importante mencionar que a medida que aumentan las RPM aumentará la presión del aceite, ya que se requiere una mayor capacidad de lubricación en las piezas internas del motor.

- Pruebas temperatura:

Grafica 2. Temperatura.

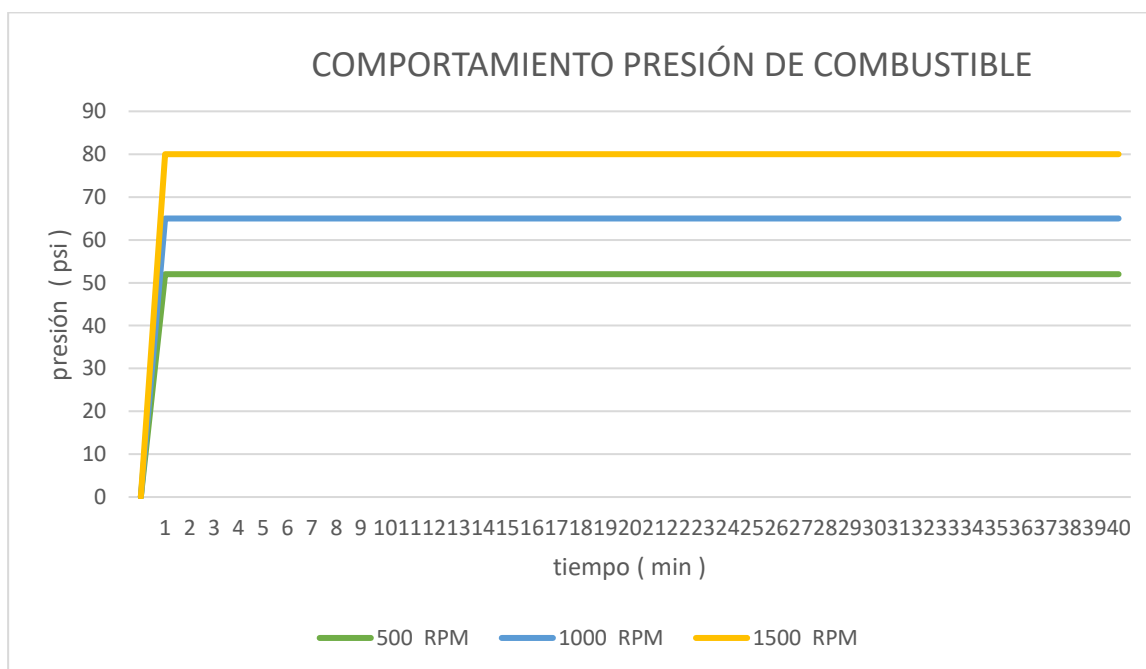


Fuente: Autores.

Como se puede ver en la Grafica 2, a mayor RPM más rápido aumentara la temperatura del motor, esto se debe a que las piezas internas estarán funcionando a mayor velocidad, lo cual permite un mayor aporte de calor. La temperatura normal de un motor diésel oscila entre los 91°C a 105°C, si supera este último, el motor producirá fallas de recalentamiento y esto puede generar una falla sistemática en las piezas que lo componen (bloque, culata, casquetes, etc.), lo cual dejará inservible el motor.

- Pruebas presión de combustible:

Grafica 3. Presión de combustible.

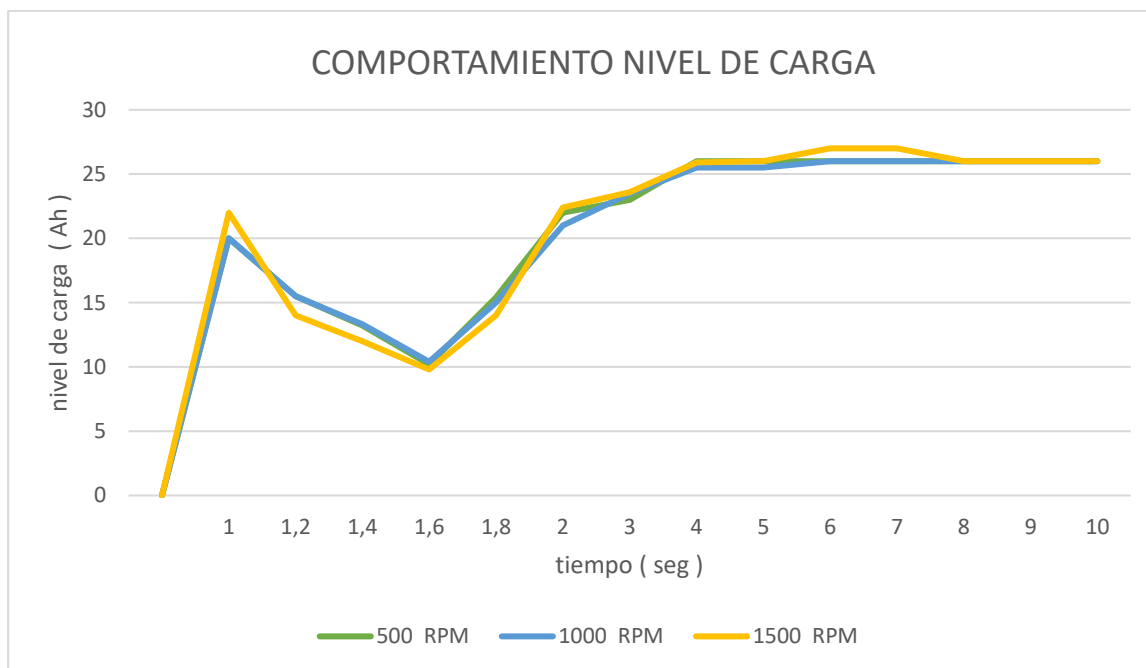


Fuente: Autores.

En la gráfica anterior, se puede ver de forma clara que a mayor RPM mayor será la presión del combustible, esto se debe a que la bomba de inyección tiene que suministrar una mayor cantidad de ACPM en las cámaras de combustión y de esta manera generara un tiempo de explosión más rápido. Vale la pena aclarar que, a mayor velocidad del motor, mayor será el consumo de combustible.

- Pruebas de sistema eléctrico:

Grafica 4. Nivel de carga de la batería.



Fuente: Autores.

Se pudo verificar el comportamiento inmediato del sistema en el momento en el que se da arranque, como se puede observar este comportamiento es similar en las tres pruebas realizadas. Este sistema tiene una etapa de absorción de energía inmediato el cual va direccionado al arranque del motor, posteriormente del arranque el alternador funciona como generador de corriente, lo cual permite que la batería recupere rápidamente su nivel de carga, este sistema se estandariza después de 10seg.

3.3.4 Parámetros de funcionamiento del motor KIA JUPITER J2 establecidos por el fabricante.

Los resultados manométricos son de vital importancia para saber si el motor diésel está presentando algún tipo de falla en su funcionamiento, en la Tabla 11, se pueden observar los parámetros de funcionamiento indicados por el fabricante.

Tabla 12. Parámetros de funcionamiento, Motor diésel KIA JUPITER J2.

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO MOTOR DIESEL KIA JUPITER J2		
PARAMETRO	RANGO DE FUNCIONAMIENTO	UNIDADES
Nivel de carga de la batería	De 20 a 32	Ah
Temperatura interna de motor	90 a 105	°C
Presión de aceite	De 20 a 60	psi
Presión de combustible	De 25 a 150	psi

Fuente: Catalogo motor.

3.4 Resultado final obtenido.

Se obtiene una herramienta de estudio acorde al diseño, que beneficiará a los estudiantes de la UAN. En la Figura 18, se visualiza el banco didáctico terminado e instalado dentro de los laboratorios de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja.

Figura 19. Banco didáctico motor diésel.



Fuente: Autores.

3.5 Resultados de inversión.

Los fondos destinados para este proyecto fueron suministrados por los integrantes del grupo, dando como resultado la siguiente tabla de costos (véase tabla 12).

Tabla 13. resultados de inversión.

Descripción del recurso físico	Recursos Estudiante			
	Cant	Und	Valor Unitario	Valor Total
Tubo de 7X7cm de acero A50	6	m	32.000	192.000
Motor diésel	1		3.000.000	3.000.000
Soldadura	2	kg	32.000	64.000
Manguera ¼	4	m	2.000	2.000
Manguera de ½	3	m	23.300	70.000
Radiador	1		150.000	150.000
Filtro de combustible (trampa)	1		35.000	35.000
Refrigerante motor	5	Lt	5.000	25.000
Acpm	7	gl	9.500	67.000
Aceite para motor	1	gl	60.000	60.000
Cableado calibre 18	10	m	1.500	15.000
Lamina de acero 1035	2	m	30.000	30.000
Tacómetro rpm	1	rpm	28.000	28.000
Tacómetro temperatura	1	°C	28.000	28.000
Switch encendido	1		40.000	40.000
Odómetro	1		54.000	54.000
Silenciador exosto	1		180.000	180.000
Tornillos 6 mm	30		500	15.000
Tornillos 10 mm	20		1.000	20.000
Deposito combustible	1		40.000	40.000
Ruedas para estructura	6		35.000	210.000
Soportes del motor	2		45.000	90.000
Bujías de precalentamiento	4		10.000	40.000
Filtro trampa	1		40.000	40.000
Pintura	15		10.000	150.000
Junta del motor	1		220.000	220.000

Instalación eléctrica	1		450.000	450.000
Mano de obra			800.000	800.000
Tubo exosto	1		150.000	150.000
Filtro de aire	1		180.000	180.000
TOTAL:				6.445.000

Fuente: Autores.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Se diseñó e implementó un banco didáctico para el motor diésel KIA JUPITER J2 como herramienta practica para el estudio de los motores de combustión interna, que permite el refuerzo de conocimientos para los estudiantes del programa de Ingeniería Mecánica y carreras afines de la UAN sede Tunja.

A partir del diseño de la geometría de la estructura del banco y realizando la simulación del comportamiento con la aplicación de cargas en el software Autodesk Inventor, se verificó que cumple los valores mínimos requeridos de resistencia mecánica, adaptabilidad al usuario de acuerdo con la ubicación en el laboratorio.

La estructura metálica, tablero de control, soportes para: batería, motor, radiador, tanque de combustible y reja de seguridad, se construyó con base en el diseño previamente concebido y de esta manera se obtuvo un equipo seguro para las prácticas académicas de la comunidad UAN.

Para validar el funcionamiento del motor se realizaron pruebas de funcionamiento a cada uno de los sistemas que conforman el motor, como son: lubricación, presión de combustible, comportamiento de temperatura, niveles de carga de batería, prueba de compresión en cada cilindro, donde se obtuvo que en todas cumple con los valores establecidos en el manual de funcionamiento producido por el fabricante. Ver numeral 3.3.

Se elaboró el manual – guía de práctica de laboratorio titulado “RECONOCIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DIESEL KIA JUPITER J2”, con el que se presentan tres prácticas con su respectivo paso a paso y desarrollo completo, de: 1) las revisiones para antes de poner en marcha el motor, 2) cómo ponerlo en marcha, y 3) la identificación visual de las partes externas del motor.

4.2 Recomendaciones

El desarrollo del presente documento deja entrever que este tipo de motores se puede ajustar a nuevas tecnologías, por ejemplo, desarrollar un software para la recolección de datos que describa el comportamiento del motor. Al igual que se podría implementar un opacímetro de flujo parcial y de esta maneja generar pruebas prácticas de opacidad de gases.

El objetivo de estudio que compone este documento solo es el primer paso a futuras pruebas de laboratorio que beneficiarán a la comunidad UAN, como el desarrollo de nuevas investigaciones enfocadas a la relación de transmisión en este tipo de motores y de esta manera acercar más a los estudiantes al contacto directo con sistemas de engranajes y su funcionamiento (caja de velocidades).

La investigación de esta tecnología no se debe parar, ya que este tipo de motores cumple un papel importante en el desarrollo sostenible de la humanidad.

Bibliografía

- [1] S. Consuegra Pachec «Modulos Motores Diesel» 2007.
- [2] R. Braun, M. Pumarino, y S. Tolvett, «Motore Diesel: Tecnologia Para Su Futuro», may 2019.
- [3] J. M. M. González, «Análisis comparativo del desempeño y emisiones de un motor diesel de gran capacidad operando bajo dos escenarios: trabajo en ruta activa y trabajo en banco», vol. 30, n.º 1, p. 7, 2010.
- [4] O. R. Barreto, «Comparación del desempeño de varias calidades de gas natural y evaluación de viabilidad para el uso de biogás como combustible para vehículos que operan con GNCV.», p. 112.
- [5] «078_Perfil-Automotriz-esp.pdf».
- [6] «Perfil Automotriz_ Septiembre 2012 Final (2).pdf». .
- [7] L. Sánchez y W. Omar, «Elaboración de bancos didácticos funcionales de motores de encendido provocado», p. 135.
- [8] J. G. Aristizabal y A. F. F. Landazabal, «Desarrollo DeUn Banco Didactico Para Pruebas De Labotariro A Partir De Un Motor Diesel Cuatro Tiempos Y Cuatro Cilindros En Linea», p. 73, 2012.
- [9] Y. Mercedes, R. Morales, A. Hernández Guzmán. «Características De Un Motor De Combustión Interna Con Dos Tipos De Combustible». Instituto mexicano de transporte.2014.
- [10] M. Nogales, «Tipos de motores según la distribución de sus cilindros», *Noticias.coches.com*, 30-nov-2017. .
- [11] R. A. F. Garzón, E. R. J. Ballesteros, y J. A. A. González, «Diseño De Un Banco De Pruebas Para Motor PT6T-3», p. 348, 2008.

-
- [12] D. A. G. Mejía, «Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz», p. 107.
- [13] «Pallares et al. - Implementación de un banco para pruebas en motor D.pdf».
- [14] «65T00146.pdf». .
- [15] «rpm a potencia máxima - Definicion - Significado». [En línea]. Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/rpm-a-potencia-maxima-definicion-significado/gmx-niv15-con88297.htm>. [Accedido: 08-oct-2019].
- [16] «Presión de Aceite», p. 3.
- [17] [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x0487s/X0487S04.htm>. [Accedido: 19-oct-2019].
- [18] R. Valdés, Y. Rodríguez López, Y. Taín, y L. Fernández, «Consumo de combustible de los motores de combustión interna», *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.*, vol. 19, pp. 01-08, mar. 2010.
- [19] Salomón Consuegra Pacheco «modulo mores diesel» Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico – ITSA – 2007
- [20] UNIONBAT «Manual De Baterias De Arranque.pdf». www.baterias.com.ar.
- [21] «BANCO DE PRUEBAS - Definición - Significado».
- [22] «Motor Diesel, Aceite O Combustible diese, Biodiesel, Perodiesel» Universidad Cardenal Herrera, junio 2010.
- [23] J. Miralles, A. Giménez, L. Domenech y V García. «Efecto de la Relación de Compresión en el Rendimiento de Motores de Combustión Interna a diferentes Altitudes» Escuela Superior de Enseñanzas Técnicas, Universidad CEU.
- [24] «partes de un motor» disponible en: www.aficionadosalamecánica.com
- [25] «la-culata.pdf». Accedido: oct. 03, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://galiciavras.files.wordpress.com/2012/11/la-culata.pdf>.
- [26] «Fabricación_de_camisas.pdf». Accedido: oct. 03, 2019. [En línea]. Disponible en: http://oa.upm.es/14283/1/Fabricaci%C3%B3n_de_camisas.pdf.
- [27] D. Gutiérrez Quispe “motor diesel”. Disponible en: monografias.com28

- [28] C. F. Lema Romero y G. J. Tobar Arizaga. «Diseño de los colectores de admisión y escape con análisis comparativo en un motor estándar G10 de un vehículo Suzuki Forsa» universidad politécnica salesiana, año 2010 – 2011.
- [29] G. M. García Orozco. «Principales fallas en un motor diésel». disponible en: pruebaderuta.com
- [30] ALSglobo. «Las fallas más comunes ligadas a la lubricación de motores», 31 de julio 2018.
- [31] E. C. del Río «Cinemática Y Dinámica Del Sólido Rígido».
- [32] Disponible en: ergonimia.gov.co
- [33] «características mecánicas del acero» disponible en: ingemecanica.com.
- [34] Clasificación AWS: E – 6013 / E – 4313 «sistema arco manual»

Anexo A.

Guía para docentes – manual de laboratorio de motores de combustión interna.

Ver documento adjunto con 12 número de páginas.

Anexo A1.

Guía para estudiantes – manual de laboratorio de motores de combustión interna.

Ver documento adjunto con 8 número de páginas.

Anexo B.

Detalle del material de construcción de la estructura, banco didáctico para motor diésel.

Ver documento adjunto con 2 número de páginas.

Anexo C.

Plano general de la estructura.

Ver documento adjunto con 1 número de páginas. Contiene vista superior, lateral y frontal de la estructura.