



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS DE BOMBAS INYECTORAS DIÉSEL PARA EL
LABORATORIO DE MOTORES DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**CASTILLO MEDINA ANTONIO GABRIEL
SILVA CORTEZ JUAN PABLO**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA - ECUADOR

2014

ESPOCH

Faculta de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014 – 04 – 25

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

ANTONIO GABRIEL CASTILLO MEDINA

Titulada:

“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS INYECTORAS DIÉSEL PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANTONIO GABRIEL CASTILLO MEDINA

TÍTULO DE LA TESIS: “REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS INYECTORAS DIÉSEL PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de examinación: 2014-12-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jorge Paucar Guambo. PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Luis Buenaño Moyano. ASESOR DE TESIS			

* Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Jorge Paucar Guambo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Faculta de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014 – 04 – 25

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

JUAN PABLO SILVA CORTEZ

Titulada:

“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS INYECTORAS DIÉSEL PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN PABLO SILVA CORTEZ

TÍTULO DE LA TESIS: “REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS INYECTORAS DIÉSEL PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de examinación: 2014-12-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jorge Paucar Guambo. PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Luis Buenaño Moyano. ASESOR DE TESIS			

* Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Jorge Paucar Guambo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Antonio Gabriel Castillo Medina

Juan Pablo Silva Cortez

DEDICATORIA

Gracias a esas personas importantes en mi vida, en especial a mis dos ángeles que tengo en el cielo Teresa y Maite que siempre les tengo presentes en mi corazón, a mi padre y hermano que siempre estuvieron para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado por eso con todo mi cariño está tesis se las dedico a ustedes.

Antonio Castillo

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron
todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños,
por motivarme y darme la mano cuando mas lo necesitaba,
a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento

Papá y Mamá

Juan Silva

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado en toda mi carrera y en el desarrollo de este proyecto, y por brindarme fortaleza y sabiduría en todo momento.

Le doy gracias a mi padre y hermano por apoyarme en todo momento, por su sacrificio para brindarme una excelente educación.

El más sincero agradecimiento a la ESPOCH, y en especial a los Ingenieros Bolívar Cuaical y Luis Buenaño por su apoyo total y su amistad desde inicios de este proyecto.

También expresar un agradecimiento al Ing. Jorge Fonseca por habernos brindado su asesoramiento y las facilidades que nos fueron otorgadas en su empresa EURODIESEL.

Antonio Castillo

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Juan y Catalina, por el apoyo en todo momento, por los valores que han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi hermana María por ser parte de mi vida, por haberme ayudado y apoyado en las buenas y malas sobre todo por su paciencia y apoyo incondicional.

Gracias al ingeniero Jorge Fonseca por creer en Antonio y en mí, y habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional en EURODIÉSEL, por todo el apoyo y facilidades que nos fueron otorgadas en la empresa dándonos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender de sus experiencias y conocimientos.

Juan Silva

CONTENIDO

	Pág.	
1	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general.	2
1.3.2	Objetivos específicos:	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Antecedentes del motor diésel	4
2.2	Motores térmicos y definiciones	4
2.3	Descripción básica de un motor diésel de cuatro tiempos	5
2.4	Sistema de alimentación	7
2.5	Bomba de inyección	8
2.6	Elementos principales de la bomba lineal.....	11
2.7	Bombas de inyección tipo PES	11
2.8	Banco de pruebas universal.....	12
2.8.1	Características del banco universal:.....	13
2.8.2	Tipos de banco de pruebas universal.....	15
2.9	Pruebas de la bomba de inyección en el banco de pruebas.....	18
2.10	Componentes electrónicos.....	21
3.	REDISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS: REDISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA, SISTEMA HIDRÁULICO, SISTEMA DE CONTROL	
3.1	Condiciones iniciales del estado del banco de pruebas.....	24
3.2	Rediseño mecánico del banco de pruebas.....	26
3.2.1	Parámetros para el rediseño	26
3.2.2	Cálculo de cargas.	27
3.2.3	Rediseño de la base para la bomba	28
3.2.4	Diseño acople volante – bomba inyectora.....	31
3.2.5	Diseño del acoplamiento flexible.	34
3.3	Rediseño del circuito hidráulico	37
3.3.1	Esquema del circuito hidráulico	37
3.3.2	Circuito de baja presión.....	38
3.3.3	Circuito de alta presión.....	41
3.3.4	Circuito de recirculación.	41
3.4	Diseño eléctrico y electrónico del banco de pruebas.....	42

3.4.1	Diseño electrónico.....	43
3.4.1.1	Selección de elementos y dispositivos de la unidad de control electrónico....	43
3.4.1.2	Diseño del circuito electrónico.....	45
3.4.1.3	Diseño de la placa portadora del circuito electrónico.....	46
3.4.1.4	Selección de componentes del panel de control.....	46
3.4.2	Rediseño del control eléctrico.	48
4.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN, MONTAJE E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL BANCO	
4.1	Construcción del sistema mecánico	51
4.1.1	Construcción de la base para la bomba..	51
4.1.2	Construcción del acople bomba-motor..	52
4.1.3	Construcción de la junta flexible.....	52
4.1.4	Construcción del sistema de recirculación.....	53
4.1.5	Montaje del calentador eléctrico.....	53
4.2	Acondicionamiento de la estructura del banco	54
4.2.1	Reparación de daños en la superficie por oxidación..	54
4.2.2	Preparación de las superficies y pintado del banco.....	55
4.3	Implementación del sistema hidráulico.....	57
4.3.1	Instalación de la bomba alimentadora.....	57
4.3.2	Instalación de los elementos filtrante.....	57
4.3.3	Instalación de las cañerías.....	57
4.4	Fabricación del sistema de control	59
4.4.1	Elaboración de la placa.....	59
4.5	Implementación del sistema electrónico y eléctrico en el banco.....	60
4.5.1	Montaje de la placa en el banco.....	60
4.5.2	Instalación de sensores.....	61
4.5.3	Instalación de los elementos del panel de control..	62
4.5.4	Instalación de las fuentes de alimentación..	63
5.	MANUAL Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	
5.1.	Manual del banco universal para bomba diésel.....	64
5.1.1.	Componentes del banco.	64
5.1.2.	Importancia del manual.....	65
5.1.3.	Transporte, operación y almacenamiento	65
5.2.	Mandos y componentes del panel de control	67
5.2	Operación	67
5.2.1	Diagrama de flujo de operación.....	67
5.3	Mantenimiento del banco de pruebas.....	72
5.3.1	Tabla de mantenimiento.....	72
5.4	Guías de práctica de laboratorio	74

5.4.1	Guía de desarmado y armado de la bomba inyectora	74
5.4.2	Guía de calibración de la bomba	87
6.	ANÁLISIS DE COSTOS	
6.1.	Costo de proyecto	94
6.1.1.	Costos directos mecánicos.	94
6.1.2.	Costos directos hidráulicos.	95
6.1.3.	Costos directos electrónicos y eléctricos	95
6.1.4.	Costos indirectos.....	96
6.1.5.	Costo total.....	96
6.2.	Análisis de costo por operación.....	96
6.3.	Valor de salvamento del banco	97
6.4.	Depreciación del banco.....	97
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	99
7.2	Recomendaciones	100

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Características del acero AISI 1010	28
2. Sujeciones y cargas de la base para la bomba	29
3. Características del acero AISI 1010	32
4. Sujeciones y cargas del acople	32
5. Características del acrílico de medio impacto.....	35
6. Cargas y sujeciones del acople flexible	35
7. Especificaciones técnicas de la bomba de combustible.....	39
8. Especificaciones técnicas tubería NBR	40
9. Condiciones de ajuste equipos ZEXEL.....	41
10. Parámetros de configuración.....	50
11. Descripción de las cañerías para baja presión	58
12. Tabla de mantenimiento del banco.....	73
13. Equipo de inyección	87
14. Condiciones de Ajuste.....	87
15. Ajuste de la cantidad de inyección.....	88
16. Costos directos mecánicos.....	94
17. Costos directos hidráulicos.....	95
18. Costos directos electrónicos y eléctricos	95
19. Costos indirectos.....	96
20. Costos por operación	97
21. Depreciación de la máquina	98

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1. Motor diésel de Rudolf Diesel. -----	4
2. Tiempo de admisión. -----	5
3. Tiempo de compresión.-----	6
4. Tiempo de expansión -----	6
5: Tiempo de escape. -----	7
6. Bomba de alimentación-----	8
7. Campos de aplicación de los sistemas de inyección diésel, Bosch.-----	9
8. Bomba A en línea. -----	9
9. Bomba en línea modelo P-----	10
10. Significado de los caracteres de la fórmula de tipo -----	10
11. Conjunto bomba de inyección -----	11
12. Partes internas bomba en línea-----	12
13. Banco de pruebas de componentes universal Bosch.-----	13
14. Acople bomba-motor -----	13
15. Soporte de montaje para bomba tipo A -----	14
16. Cañerías de alta presión-----	14
17. Inyector de pruebas-----	14
18. Juego de probetas -----	15
19. Banco de prueba analógico-----	16
20. Banco de pruebas de bombas de inyección JPS-12DBS-----	16
21. Digitalizador electrónico digital CR-60 Zemtec-----	17
22. Banco de prueba CRI-400-----	18
23. Calibración del comienzo de alimentación -----	19
24. Ajuste de caudal de inyección-----	19
25. Curva de caudales -----	20
26. Arduino Mega 2560 R3 -----	21
27. LCD de 4x16-----	21
28. Interruptor simple-----	22
29. Conmutador-----	22
30. Pulsador -----	22
31. Potenciómetro-----	23
32. Keypad-----	23
33. Sistema de control obsoleto -----	24
34. Motor eléctrico-----	24
35. Conjunto de probetas-----	25
36. Bomba rotativa -----	25
37. Condición inicial de la estructura -----	26
38. Modelación de la base de la bomba -----	28
39. Mallado de base bomba -----	29
40. Distribución de esfuerzos de la base -----	30
41. Distribución de las deformaciones de la base -----	30

42. Estudio del factor de seguridad de la base-----	31
43. Modelación del acople -----	31
44. Mallado del acople -----	33
45. Distribución de esfuerzos del acople -----	33
46. Distribución de deformaciones del acople-----	33
47. Factor de seguridad del acople -----	34
48. Modelado del acople flexible-----	34
49. Mallado del acople flexible -----	36
50. Distribución de esfuerzos del acople flexible -----	36
51. Distribución de desplazamientos del acople flexible -----	36
52. Factor de seguridad del acople flexible -----	37
53. Esquema del circuito hidráulico -----	38
54. Bomba eléctrica-----	39
55. Niveles de limpieza ISO de la industria en general -----	39
56. Códigos de contaminación ISO 4406-----	40
57. Cañerías de acero-----	41
58. Cañerías de recirculación -----	42
59. Esquema del diseño de control -----	42
60. Esquema de control del banco-----	42
61. Sensor de temperatura LM35 -----	44
62. Encoder -----	44
63. Resistencia del calentador -----	44
64. Diseño electrónico-----	45
65. Diseño de la placa vistas superior e inferior -----	46
66. Elementos del panel de control -----	47
67. Micromaster 420-----	48
68. Esquema de configuración del micromaster -----	48
69. Instalación mecánica del micromaster -----	49
70. Conexión del micromaster-----	49
71. Configuraciones de los bornes-----	50
72. Base previa al rediseño -----	51
73. Base rediseñada y fabricada -----	51
74. Acople motor terminado-----	52
75. Acople flexible terminado-----	52
76. Rediseño del conjunto de probetas -----	53
77. Recirculación de la bandeja-----	53
78. Proceso de soldadura -----	54
79. Calentador instalado en la estructura-----	54
80. Oxidación superficial presente en la estructura -----	54
81. Presencia de óxido en el eje-----	55
82. Acabado final del eje de salida-----	55
83. Lijado de las superficies -----	55
84. Proceso de pintura del banco -----	56
85. Acabado final del banco -----	56
86. Instalación de la bomba alimentadora-----	57
87. Instalación de elementos filtrantes -----	57
88. Conexión de alimentación a la bomba inyectora-----	58
89. Instalación de cañerías de alta presión -----	58

90. Circuito impreso-----	59
91. Proceso de transferencia del circuito -----	59
92: Proceso de dibujado de las pistas-----	60
93. Circuito electrónico con sus componentes -----	60
94. Circuito electrónico-----	61
95. Conexiones de la placa -----	61
96. Instalación del sensor de temperatura -----	61
97. Instalación del sensor óptico-----	62
98. Switch térmicos -----	62
99. Instrumentos del panel de control -----	62
100. Enchufes de alimentación -----	63
101. Fuente de alimentación de 12V -----	63
102. Partes principales del banco -----	64
103. Conexión de 360 VAC -----	66
104. Conexión de 120 VAC -----	66
105. Conexión de 12 VDC para la batería-----	66
106. Panel de control-----	67
107. Diagrama de funcionamiento -----	68
108. Interruptores de protección. -----	69
109. Pantalla LCD-----	69
110. Regulador de rpm-----	69
111. Selección de entrada -----	69
112. Botón de inicio-----	70
113. Ingreso de número de vueltas -----	70
114. Funcionamiento del contador -----	70
115. Vinculación con HC-05 -----	71
116. Pantalla de inicio-----	71
117. Conexión Bluetooth -----	71
118. Pantalla de ingreso de vueltas-----	72
119.Herramientas para el armado y desarmado -----	74
120. Bomba en el tornillo de banco -----	75
121. Desarmado del regulador-----	75
122. Vista interna del regulador-----	76
123. Desarmado del regulador-----	76
124. Acople bomba-motor-----	76
125. Desmontaje de la tuerca redonda-----	76
126. Extracción del contrapeso -----	77
127. Instalación del acople-----	77
128. Instalación de los seguros -----	77
129.Desmontaje de las tapas inferiores-----	77
130.Desmontaje de la pista del rodamiento-----	78
131. Desmontaje de los pernos del cojinete central -----	78
132. Extracción del árbol de levas -----	78
133. Empujadores comprimidos -----	79
134. Empujadores-----	79
135. Extracción del conjunto-----	79
136.Cremallera-----	80
137. Racor de impulsión-----	80

138. Desmontaje del cuerpo de embolo -----	80
139. Holgura entre carcasa y empujador -----	81
140. Juego axial del árbol de levas -----	81
141. Hermeticidad de la válvula -----	82
142. Holgura entre rueda dentada y embolo -----	83
143. Alineación del embolo -----	83
144. Válvula de suministro y junta nueva -----	84
145. Instalación de la cremallera -----	84
146. Marca de Alineación de la cremallera -----	84
147. Alineación de las ruedas dentadas -----	84
148. Instalación del conjunto -----	85
149. Instalación de los seguros -----	85
150. Instalación del arbo de levas -----	85
151. Ajuste del porta rodamiento. -----	85
152. Torqueado de tapas inferiores -----	86
153. Extracción de los seguros -----	86
154. Instalación de contrapesos -----	86
155. Instalación del regulador -----	86
156. Herramientas especiales para la calibración -----	88
157. Instalación de la tapa -----	89
158. Instalación de la bomba en el banco -----	89
159. Instalación del acople -----	89
160. Instalación de la junta flexible -----	90
161. Instalación de la cañería de alimentación -----	90
162. Instalación de las cañerías de alta presión -----	90
163. Conjunto de bomba y reloj palpador -----	91
164. Desarmado del regulador -----	91
165. Reloj palpador -----	92
166. Caudal de inyección desequilibrado -----	92
167. Proceso de calibrado -----	92
168. Regulación terminada -----	93
169. Calibración del mando -----	93

SIMBOLOGÍA

T_m	Torque del motor	N.m
η	Rendimiento	%
P_{S_m}	Potencia de Salida del motor	W
P_{e_m}	Potencia de entrada del motor	W
ω_m	Velocidad angular del motor	rad/s
ω_B	Peso de la bomba inyectora	N
P	Inversión	USD
S	Valor de salvamento	USD
n	Tiempo de vida útil	años
Da	Depreciación anual	USD

LISTA DE ABREVIACIONES

PMS	Punto Muerto Superior
PMI	Punto Muerto Inferior
ISO	Organización Internacional de Normalización
VAC	Voltaje de Corriente Alterna
VCD	Voltaje de Corriente Directa
SPST	Simple Polo Simple Tiro
DPDT	Doble Polo Doble Tiro
AISI	Instituto Estadounidense del Acero y Hierro
NBR	Hule Acrilonitrilo–Butadieno
LCD	Pantalla de Cristal Líquido
AFD	Unidad Ajustable de Frecuencia

LISTA DE ANEXOS

- A** Plano de la base para la bomba
- B** Planos de los acoples
- C** Diseño de la placa
- D** Programación del Arduino
- E** Manual de usuario de la máquina
- F** Manual de mantenimiento de la máquina
- G** Guías de práctica de laboratorio
- H** Manual de taller de la bomba lineal

RESUMEN

El rediseño e implementación de un banco de pruebas de bombas inyectoras Diésel, tiene como finalidad aportar con un equipo de aprendizaje que permita desarrollar habilidades y obtener conocimientos de la calibración de bombas inyectoras diésel.

La investigación empezó con la compilación de información, antecedentes y funcionamiento del sistema de inyección diésel, características y funcionamientos de bancos de pruebas universidades en función del estado actual del arte, componentes y dispositivos electrónicos de última generación en sistemas de control.

El proceso inició con el rediseño mecánico de la estructura y adaptación de componentes para la bomba lineal en función a normas de seguridad mediante el resultado del análisis de elemento finito. El rediseño hidráulico consta de elementos seleccionados bajo normas y tablas de operación, el sistema de control del banco se diseñó y fabricó previa a la selección de elementos optimizando recursos y adoptando tecnología actual.

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.

Concluyendo la investigación se desarrolló manuales de operación y mantenimiento del banco, guías de prácticas para la correcta operación permitiendo al estudiante una mejor comprensión. Se recomienda seguir el manual de operación del banco, su mantenimiento para una mejor vida útil de los sistemas del banco al momento de realizar las actividades prácticas.

ABSTRACT

The redesign and implementation of a test of diesel injection pumps, aims to provide an equipment of learning that enables to develop skills and acquire knowledge in calibration of diesel injection pumps.

The research initiated with the collection of information, background and operation of diesel injection system, characteristics and functioning of universal testing benches depending on the current state of the art, components and electronic devices of last generation in control systems.

The process started by the redesign of the mechanical structure and modification of components for linear pump according to safety regulations and by mean of the result of finite element analysis. The hydraulic redesign consists of elements selected under ISO standards and operating tables, the control system of the bench was designed and manufactured prior to the selection of elements by optimizing resources and adopting current technology elements.

It was obtained as functional test bench that enables the calibration of the diesel pump as accurately as possible that incorporates a wireless, Bluetooth communication system and a system of automatic conditioning of temperature for the fluid.

Having concluded the research, operation and maintenance manuals for the test bench, practical guides for accurate operation, were developed, making possible the student achieves a better understanding. It is recommended to follow the manual operation of the testing bench as well as its maintenance for a better life-time of the testing bench systems when making practical activities.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde su creación se plantea como misión formar profesionales competitivos, emprendedores, conscientes de su identidad nacional, justicia social, democracia y preservación del ambiente sano, a través de la generación, transmisión, adaptación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico para contribuir al desarrollo sustentable de nuestro país.

La Escuela de Ingeniería Automotriz fue creada en el año 2003, con lo cual la ESPOCH, oferta a la sociedad Ecuatoriana, profesionales en Ingeniería Automotriz competentes, emprendedores e investigadores que contribuyan al desarrollo sustentable del país preservando el medio ambiente y contribuyendo a la construcción de la sociedad del buen vivir.

Desde el principio, la historia de los motores de gasóleo se ha presentado como una eterna alternativa; inyección de combustible, en motores turbo o atmosféricos, con control electrónico o mecánico. Con el tiempo, las mecánicas modernas han terminado adoptando en la mayoría de los casos las mismas soluciones: inyección directa, incorporación del turbo, control electrónico, pero todavía existen dos grandes bloques: bomba-inyector.

La necesidad de una dosificación de combustible y ajuste del inicio de la inyección cada vez más flexibles y exactos, supuso el desarrollo de un gran número de elementos de regulación adicionales como la bomba de inyección. De esta forma se puede ajustar, por poner un ejemplo, la cantidad de inyección máxima en función del número de rpm, de la presión de carga y de la temperatura del combustible, con lo que se consigue en todas las condiciones de servicio un funcionamiento del motor sin humo, al mismo tiempo que se alcanza el máximo número de revoluciones posibles.

Por lo tanto hemos visto la necesidad de rehabilitar el banco para bombas inyectoras mediante un análisis del estado, reparación y mantenimiento del mismo.

En este proyecto se analizará y describirá la secuencia de pasos que son necesarios para la rehabilitación y mantenimiento del banco, todo esto basado en criterios ingenieriles para su adecuada realización.

1.2 Justificación

En Ecuador el incremento de vehículos de trabajo liviano mediano y pesado que incorporan sistemas de inyección diésel, la tendencia de este sistema de combustión es mayor para obtener mejores resultados en los cuidados ambientales y en la economía.

El proyecto básicamente está orientado al equipamiento del laboratorio de motores de la Escuela de ingeniería automotriz y logrará poner en funcionamiento el banco para bombas inyectoras diésel, en donde se pueda realizar prácticas reales siendo una oportunidad para lograr un mejor y más amplio aprendizaje en sus estudiantes, mejorando sus capacidades técnicas y que ellos sean capaces de estar más acordes con la realidad; realizando las pruebas y verificaciones que se realizan en un Laboratorio Diésel.

En el ámbito social se ha evidenciado que un banco de pruebas de bombas inyectoras es esencial sobre todo en el campo automotriz lo cual beneficiará al medio ambiente mejorando la combustión de los motores diésel.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Rediseñar e implementar un banco de pruebas de bombas inyectoras diésel para el laboratorio de motores de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Investigar bibliográficamente acerca de los motores diésel, bombas de inyección diésel y bancos de pruebas y elementos que componen los mismos en función del estado actual del arte.

Rediseñar los sistemas tales como: sistema mecánico, el sistema de control y el sistema hidráulico del banco de pruebas de bombas de inyección diésel.

Ensamblar, montar e instalar los sistemas del banco, sistema mecánico, componentes del sistema de control y sistema hidráulico.

Desarrollar una guía de manejo y prácticas del banco de pruebas para el análisis de bombas de inyección y diferenciar las calibraciones, implementar de un plan de mantenimiento del banco para pruebas de bombas de inyección diésel.

Establecer un presupuesto del proyecto.

CAPÍTULO II

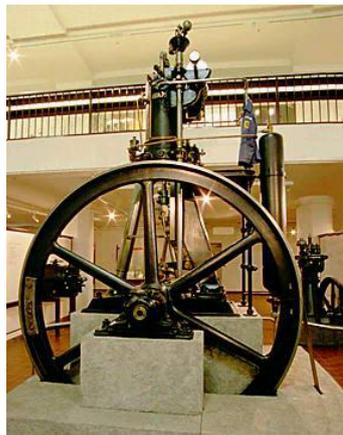
2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del motor diésel

En 1892 Rodolfo Diesel patenta su idea, “ Teoría y proyecto de un motor racional destinado a sustituir la máquina de vapor y los demás motores conocidos actualmente”, durante 5 años tiene varios tropiezos y dificultades para poner su idea en práctica, siendo la principal la no existencia de bombas para inyectar el combustible a altas presiones, por lo cual tuvo q modificar su idea principal dando origen a el motor Diésel por medio de insuflación por aire a presión de combustible líquido, que hoy en día no se emplea.

Viendo un mayor rendimiento de este motor en 1902 se implementa para propulsar un buque mercante, después de la muerte de su inventor el motor Diésel actúa a través de una inyección directa, a partir de esto el motor se engasta a los servicios posibles. (VICENTE, 2013)

Figura 1. Motor diésel de Rudolf Diesel.



Fuente: <http://ooche813.blogspot.com/2009/07/motor-diesel.html>

2.2 Motores térmicos y definiciones

- **Motores térmicos** son máquinas con su función principal transformar la energía calórica en energía mecánica, es decir, trabajo utilizable.

- **Ciclo de trabajo** es la cadena de oraciones que se realizan en el interior del motor repitiendo su orden.
 - **Fluido activo** son los gases que realizan el trabajo, sufren variaciones tanto de temperatura, presión y volumen.
 - **Combustible** es la substancia que al quemarse produce calor.
- Comburentes**, son las substancias que no se queman pero son parte de la combustión. (IMPERIAL, 2002)

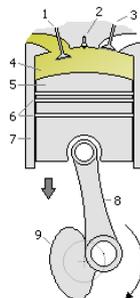
2.3 Descripción básica de un motor diésel de cuatro tiempos

El motor Diésel de cuatro tiempos es más utilizado que el de dos tiempos.

- **Primer tiempo (Admisión).**

El pistón pasa de PMS al PMI, mientras descende se crea un vacío en el interior del cilindro y aspira aire solamente, cuando el pistón llegue a PMI se encuentra el cilindro lleno de aire a presión casi de 14.69 psi y a una temperatura ambiente, la válvula de escape permanece cerrada en este tiempo. (ESQUIUS, 2002 pág. 28)

Figura 2. Tiempo de admisión.



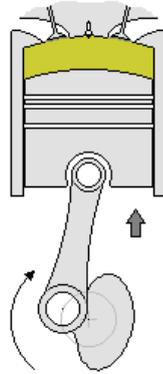
Fuente: http://wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Ciclo_de_cuatro_tiempos.png

- **Segundo tiempo (Compresión).**

El pistón asciende desde el PMI al PMS con la válvula de admisión cerrada, comprimiendo el aire que hay en el interior del cilindro reduciendo el volumen de la cámara de combustión con una aproximación de 14 a 23 veces menor, variando según el tipo de motor, la temperatura sufre un incremento de hasta 600°C, cuando el pistón está cerca del PMS se inyecta una cantidad pequeña de combustible durando esta inyección entre 20 a 30° del giro que realiza el cigüeñal, casi después de haber inyectado el combustible se produce el encendido espontaneo iniciando la combustión,

que permanece hasta después de que el pistón alcanzó el PMS. (ESQUIUS, 2002 pág. 29)

Figura 3. Tiempo de compresión.

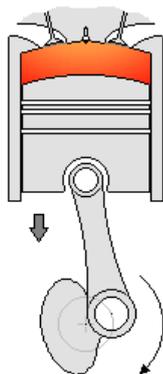


Fuente:http://wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Ciclo_de_cuatro_tiempos.png

- **Tercer tiempo (Expansión).**

Después que se produce la combustión el pistón es empujado desde el PMS hacia el PMI con las válvulas cerradas, transmitiendo la fuerza al cigüeñal a través de la biela dando un impulso de giro. (ESQUIUS, 2002 pág. 30)

Figura 4. Tiempo de expansión

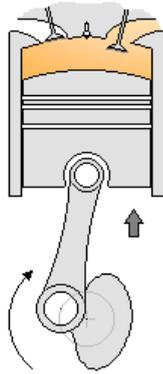


Fuente:http://wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Ciclo_de_cuatro_tiempos.png

- **Cuarto tiempo (Escape).**

Una vez que el pistón descendió al PMI asciende nuevamente hacia el PMS empujando los gases residuales de la combustión a través de la válvula de escape que empieza su apretura poco antes de que termine el tiempo de expansión. (ESQUIUS, 2002 pág. 30)

Figura 5: Tiempo de escape.



Fuente:http://wikimedia.org/wiki/commons/5/51/Ciclo_de_cuatro_tiempos.png

Al culminar el tiempo de expansión con el pistón en el PMS comienza nuevamente el ciclo.

2.4 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es el encargado de proporcionar el volumen correcto de combustible para el óptimo funcionamiento del motor. Consta de varios elementos que por lo general pueden ser los siguientes:

- Depósito de Combustible
- Bomba de alimentación
- Cañerías de flujo
- Filtro primario
- Filtro secundario
- Válvula de purga
- Bomba de inyección
- Inyectores

- **Bombas de alimentación**

Son dispositivos capaces de entregar energía para que pueda desplazarse el combustible a través del sistema de alimentación, las presiones depende del tipo de motor para los cuales necesitara mayor o menor cantidad de presión. (BOSCH, 2014)

Figura 6. Bomba de alimentación



Fuente:http://refaccionesdiesel.com/images/detailed/1/30561_bomba_electrica_de_diesel_5.9.jpg

2.5 Bomba de inyección

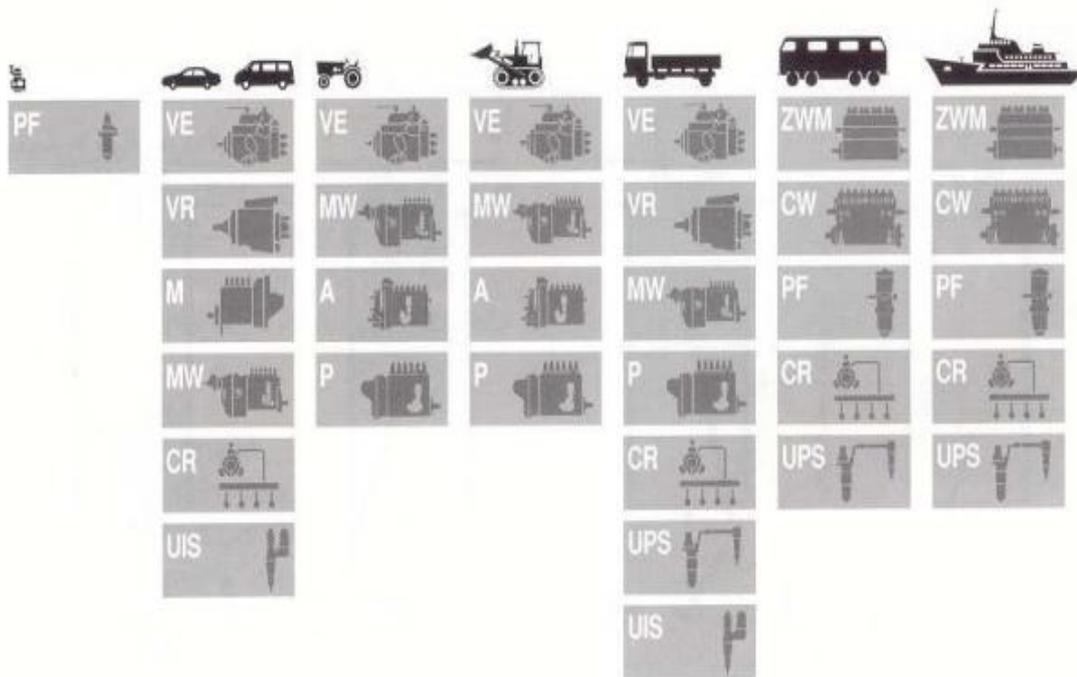
La bomba de inyección para motores diésel, es un aparato mecánico de elevada precisión que tiene la función principal en el sistema de inyección, esto es: elevar la presión del combustible a los valores de trabajo del inyector en el momento y con el ritmo y tiempo de duración adecuados, dosificar con exactitud la cantidad de combustible que será inyectado al cilindro de acuerdo a la voluntad del conductor y regular las velocidades máximas y mínimas del motor. (BRUZOS, 2014)

- **Exigencias.** La exigencia del avance tecnológico de la industria automotriz ha hecho que también evolucionen los sistemas de alimentación por que las prestaciones y requerimientos de los nuevos motores son más exigentes así como la necesidad de disminuir el consumo de combustible y la contaminación, por ello es necesario conseguir una excelente mezcla de combustible, con una presión entre los 350 y 2050 bar, dosificando el caudal con la máxima precisión posible (BOSCH, 2014)

- **Aplicaciones de las bombas de inyección diésel.**

- Las bombas tipo M, MW, A, P, ZWM, CW, son bombas de inyección en línea de tamaño constructivo ascendente.
- La bomba tipo VE, es una bomba de inyección rotativa con émbolo axial.
- La bomba VR, son bombas de inyección rotativas de émbolos radiales.
- La bomba UPS, es la unidad de bomba – tubería – inyector
- La bomba CR, Common Rail. (REUTER, 1999)

Figura 7. Campos de aplicación de los sistemas de inyección diésel, Bosch.



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/diesel-sistemas.htm>

- **Bomba lineal tipo “A”**

La bomba inyectora en línea del tamaño A posee una carcasa de aleación ligera de aluminio y puede unirse al motor tanto a través de un fijación por brida, como mediante una sujeción en bandeja, este tipo de bomba ha sido utilizado durante mucho tiempo, otorgando una presión alrededor de 750 bares, siendo utilizada para vehículos utilitarios medianos. (RITTER, 2001)

Figura 8. Bomba A en línea.



Fuente: http://www.inyecciondiesel.cl/web/documentos/Sistemas_de_Inyecci%C3%B3n_Diesel.pdf

- **Bomba lineal tipo “P”**

Debido a las exigencias y a las nuevas prestaciones, aumentado el rendimiento y reduciendo la emisión de gases para evitar la polución, se necesitó bombas que ofrezcan una pulverización del combustible con presión mucho más alta, por ello se ha creado la bomba tipo P que es similar a la de tipo A adicionando una presión que se encuentra alrededor de los 1300 bar. (RITTER, 2001)

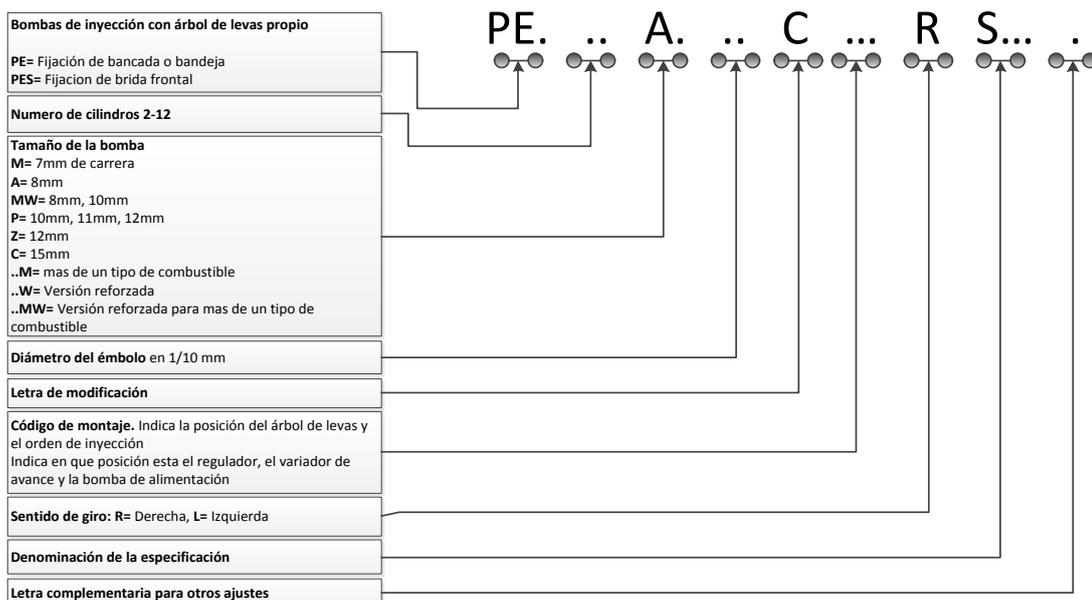
Figura 9. Bomba en línea modelo P



Fuente: http://www.inyecciondiesel.cl/web/documentos/Sistemas_de_Inyecci%C3%B3n_Diesel.pdf

- **Fórmula de modelo**

Figura 10. Significado de los caracteres de la fórmula de tipo

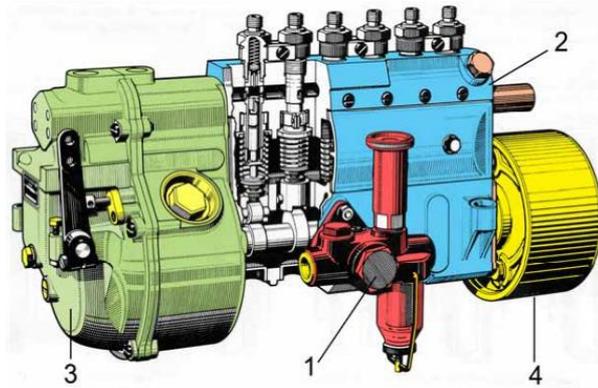


Fuente: Motor sports Madrid. Curso bombas en línea

2.6 Elementos principales de la bomba lineal

El conjunto bomba está formado por la bomba de inyección y los reguladores mecánicos, sus principales componentes son:

Figura 11. Conjunto bomba de inyección



Fuente: <http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/cursos/bombas1/conjuntobombadeinyeccion.html>

1. Bomba de alimentación
2. Bomba de inyección
3. Regulador de revoluciones
4. Variador de avance

El conjunto bomba está regulado por una tabla en la cual se puede encontrar los valores de ensayo por ello es importante la identificación del conjunto, para poder identificar un conjunto bomba es necesario disponer de la placa de información en donde encontraremos el número de pedido y la fórmula del modelo de ésta, en donde podemos encontrar sus características principales. (BOSCH, 2014)

2.7 Bombas de inyección tipo PES

La bomba lineal del tamaño P fue desarrollada para mayores potencias de bombeo, es una bomba de ejecución cerrada, fijada al motor mediante el fondo o por brida

Este tipo de bomba de inyección lineal posee un árbol de levas propio y un elemento bomba para cada cilindro. (BOSCH, 2014)

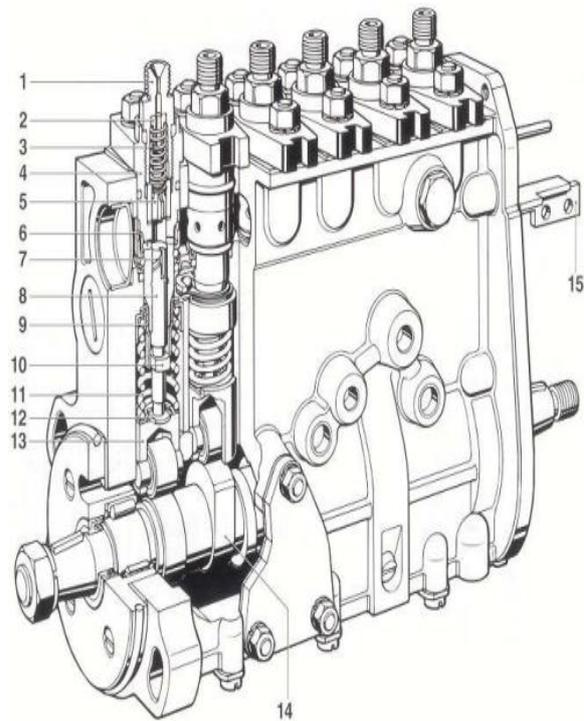
- **Grupos internos de bomba**
 - Una bomba de inyección.

- Regulador mecánico, controla el régimen del motor y el caudal de combustible que se va a inyectar.
- Variador de avance, regula el comienzo de alimentación en función del número de revoluciones.
- Bomba de alimentación, aspira el combustible desde el depósito a través del circuito de alimentación.
- Tuberías de alta presión, en función de los números de cilindros llevan el caudal y presión de combustible desde la bomba de inyección hasta los inyectores. (BOSCH, 2014)

- **Partes internas**

Figura 12. Partes internas bomba en línea

1. Racor de impulsión
2. Suplemento
3. Muelle de la válvula de presión
4. Cilindro de bomba
5. Válvula de presión
6. Lumbreras de admisión y mando
7. Rampa de mando
8. Émbolo de bomba
9. Casquillo de regulación
10. Talón del émbolo
11. Muelle del émbolo
12. Platillo de muelle
13. Impulsor de rodillo
14. Leva
15. Varilla de regulación



Fuente:http://myauto26.ru/img/feeding/shema_inline_injection_pump02.jpg

2.8 Banco de pruebas universal

El banco de pruebas universal está diseñado para un amplio rango de aplicaciones, por ejemplo permite la calibración de bombas inyectoras diésel lineales y rotativas con control mecánico o electrónico, el banco posee una serie de probetas graduadas los

cuales ofrecen una lectura del caudal entregado por la bomba en las distintos ensayos, además provee manómetros y varios acoples para diferentes tipos de bombas.

Los bancos universales han sido utilizados para bombas con control mecánico y se han acondicionado para bombas con control electrónico incorporando dispositivos electrónicos, que simulan las distintas señales de los sensores del motor, necesarias para el control y funcionamiento en el banco de pruebas.

Figura 13. Banco de pruebas de componentes universal Bosch.



Fuente: <http://www.bosch.com.ar/ar/equite> 1

2.8.1 Características del banco universal. Un banco de pruebas típico tiene las siguientes características:

- **Acoplamiento de transmisión.** Son acoples entre la bomba y el eje de transmisión del banco sirve para hacer girar la bomba en cualquier sentido y a todas las velocidades indicadas en los datos de prueba y en la placa de características de la bomba.

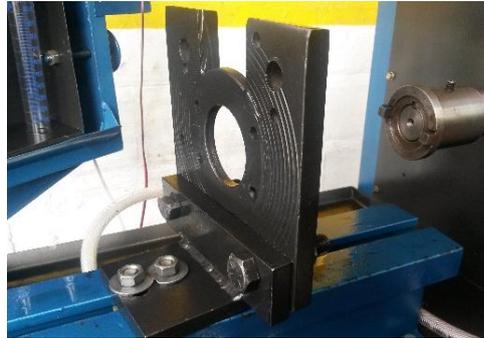
Figura 14. Acople bomba-motor



Fuente: Autores

- **Soporte de montaje.** Es la sujeción de la bomba al banco.

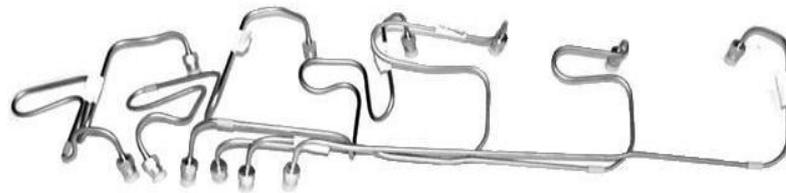
Figura 15. Soporte de montaje para bomba tipo A



Fuente: Autores

- **Juego de cañerías de alta presión.** Acopla las conexiones externas de la bomba de inyección según el número de cilindros a un juego de inyectores reglados a una presión indicada.

Figura 16. Cañerías de alta presión



Fuente: <http://miguiargentina.com.ar/imagenes/b/783347853-2-fabrica-de-canos-de-inyeccion-diesel.jpeg>

- **Juego de inyectores de alta presión.** El juego comprende de inyectores de calibración maestros que se encuentran con idoneidad para todas las bombas en línea. Estos se encuentran para el uso de las pruebas, así como la para calibración de bombas de tipo P en línea y son compatibles con la gama completa de la bombas de inyección de combustible diésel.

Figura 17. Inyector de pruebas



Fuente: <http://imgs.inkfrog.com/pix/royalspares/CA-S01025C.JPG>

- **Juego de probetas graduadas.** Indica el rendimiento del caudal de cada cilindro de la bomba.

Figura 18. Juego de probetas



Fuente: <http://i1.ytimg.com/vi/UJmqHcbZm6U/maxresdefault.jpg>

- **Sistema de alimentación de combustible.** Proporciona una alimentación adecuada en la entrada de la bomba a una presión constante indicada mediante manómetros.
- **Fluidos de prueba.** En los bancos de prueba en vez de gasoil, se manipulan aceites especiales ya que poseen características como densidad y viscosidad similares a los combustibles utilizados en los motores diésel, pero con la diferencia que son inocuos es decir si entran en contacto con la piel evitan patologías dermatológicas que generan los hidrocarburos.

2.8.2 Tipos de banco de pruebas universal. El banco de inspección para bombas inyectoras proporciona básicamente tres diferentes tipos de bancos universales, que son, bancos para bombas inyectoras con mandos analógicos, bancos de inspección con pantalla digital, y bancos de inspección para sistemas de riel común de alta presión.

- **Bancos universales analógicos**

Este tipo de banco analógico posee un volante que regula las revoluciones del motor y la visualización de las mismas es mostrada mediante un indicador analógico, este tipo de sistema tiende a ser imprecisa debido al error de paralaje del operador, funciona para todas las bombas tipos lineales y rotativas con control mecánico.

Figura 19. Banco de prueba analógico



Fuente: http://images.evisos.com.ar/2009/09/29/banco-de-pruebas-gumel_cfe30ae85_3.jpg

- **Bancos universales digitales**

El banco con visualización en pantalla digital presenta gran precisión, facilitando al taller mayor economía y rapidez en las calibraciones, prueba actuadores con precisión de numerosas bombas.

Para el control de velocidad del motor utiliza un convertidor de frecuencia avanzado con una operación conveniente y alta fiabilidad perfeccionamiento de los sistemas electro electrónico y de ventilación garantiza al equipo la máxima vida útil.

Figura 20. Banco de pruebas de bombas de inyección JPS-12DBS



Fuente: <http://www.auto-equipments.es/product/2-1-1b.jpg>

Funcionan perfectamente para bombas lineales y rotativas con control mecánico y electrónico, para esto utilizan simuladores con cables de conexión para solenoides

adicionales de arranque/parada y para sensor de temperatura mediante conectores de acoplamiento conforme ISO.

Figura 21. Digitalizador electrónico digital CR-60 Zemtec



Fuente: http://www.tallerplus.com.ar/archivos/imagenes/cr-60_5.jpg

- **Bancos universales para sistemas riel común**

Las presiones de inyección a las que funcionan los motores diésel Common-Rail modernos han experimentado en los últimos años un incremento constante, hoy son ya habituales presiones de 2.000 bares, y la tendencia sigue en aumento.

Un banco para riel común de alta presión es un equipo informático sofisticado usado para probar y controlar una amplia gama de bomba inyectoras aplicable para sistemas de alta presión de combustible riel común.

Este equipo permite trabajar con presiones de hasta 2.500 bares y acoplar los inyectores según indica el fabricante. El banco monitoriza electrónicamente todos los parámetros que mide e incluye un conjunto de comprobación de inyectores piezoeléctricos Common Rail de Bosch, Denso y Siemens/Continental activando los inyectores con señales iguales a las del vehículo.

La visualización de los resultados se realiza mediante una pantalla gráfica y sencilla interface de manejo y mide automáticamente el caudal de inyección y de retorno, el equipo detecta automáticamente los inyectores, al final de la prueba se puede visualizar el resultado por inyector en la opción informe y almacena los resultados para envío del informe al PC

Control electrónico y aviso automático de los períodos de mantenimiento (p. ej. de cambio de aceite de ensayo) y posee un sistema de diagnóstico propio, que avisa si es necesario un cambio de filtros. (ORTIZ, 2014)

Figura 22. Banco de prueba CRI-400



Fuente: <http://dieselmetal.com/cri400.html#>

2.9 Pruebas de la bomba de inyección en el banco de pruebas

- **Ajuste de la bomba de inyección (comienzo de la alimentación)**

Las pruebas de bombas de inyección se dividen en tres partes:

- Valores de ajuste de inyección
- Valores de ajuste del regulador
- Valores de ajuste de la bomba de inyección con regulador adosado (caudales)

*Nota: El valor de ajuste del regulador y los caudales se realizan simultáneamente.

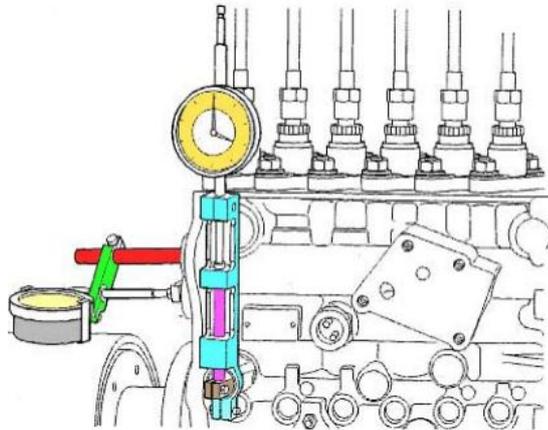
Los ajustes de las bombas se dividen en dos partes:

- Comienzo de alimentación
- Ajustes básicos

(BOSCH, 2014)

- **Comienzo de alimentación.** Este valor define la posición de inyección sobre el perfil de la leva, este desfase nos permite saber esta posición en los otros cilindros y el ajuste del indicador de puesta a punto. (BOSCH, 2014)

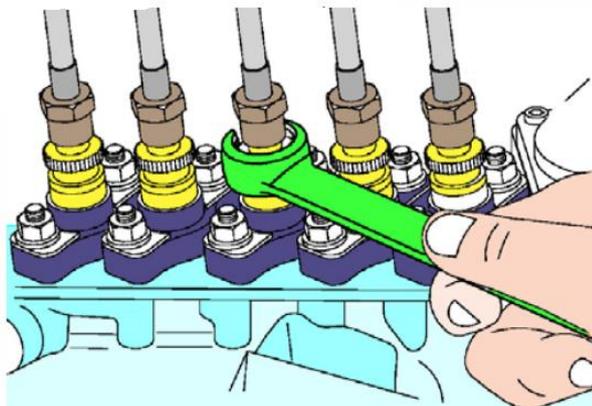
Figura 23. Calibración del comienzo de alimentación



Fuente: http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste_en_banco.pdf

- **Ajuste básico.** En este ajuste se debe controlar el caudal que se va a suministrar la bomba de inyección con el recorrido que debe seguir la cremallera indicado en la tabla de pruebas. Con esta prueba podemos verificar el estado de los elementos internos de bombeo y el estado geométrico de las levas, realizando el ajuste del caudal medio y la dispersión (diferencia entre los cilindros) bajo condiciones de caudal a plena carga. (BOSCH, 2014)

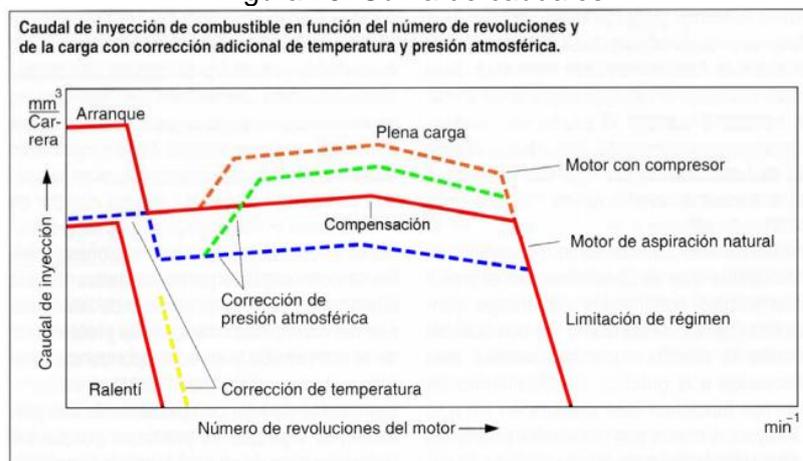
Figura 24. Ajuste de caudal de inyección



Fuente: http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste_en_banco.pdf

- **Valores de ajustes de recorrido y posición del manguito (regulador adosado).** En la prueba de carrera de manguito podemos verificar el desplazamiento de los contra pesos que se encuentran en función de régimen del motor, así se puede ajustar los muelles del regulador que están insertados los contrapesos. La posición del manguito se puede controlar la posición de los contrapesos y la varilla de regulación. (BOSCH, 2014)
- **Ajuste del caudal a plena carga.** Este ajuste se realiza con el apartado de caudal a plena carga, ajustado los reguladores que es el tornillo de tope de la palanca de mando, esto define el desplazamiento máximo que recorre la varilla de regulación. (BOSCH, 2014)
- **Regulación del limitador final o corte de revoluciones.** Se conoce como el corte de revoluciones, elimina el caudal que proporciona la inyección progresiva cuando sobrepasa cierto número de revoluciones. (BOSCH, 2014)
- **Régimen de ralentí.** Mediante esta prueba se verifica el trabajo del regulador con la palanca de mando en posición de ralentí, en donde se fija el tornillo de tope de la palanca de mando. (BOSCH, 2014)
- **Compensación.** También llamada asimilación es la adaptación del caudal inyectado a la curva del par motor, es decir en el momento que se transforma la máxima cantidad de energía química proporcionada por la combustión del combustible debe coincidir con la máxima cantidad de combustible inyectado. (BOSCH, 2014)

Figura 25. Curva de caudales

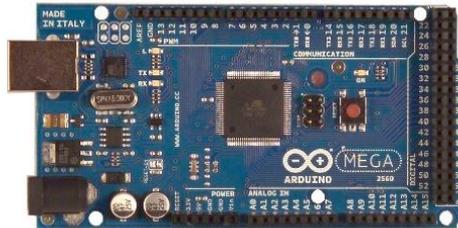


Fuente: http://tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste_en_banco.pdf

2.10 Componentes electrónicos

- **Dispositivo Arduino.** El Arduino mega es una placa de componentes electrónicos dotados de un microprocesador Atmel AVR, una conexión USB estándar o un puerto clavija ICSP para su alimentación. (ARDUINO, 2014)

Figura 26. Arduino Mega 2560 R3



Fuente: <http://www.cortoc.com/p/arduino.html>

- **Características de Arduino**
 - Controlador ATmega
 - Voltaje de entrada de 7V a 12V
 - 54 entradas/salidas digitales (14 salidas PWM)
 - 16 entradas analógicas
 - Memoria Flash de 256k
- **Elemento de visualización (LCD).** Es una placa que consta de una pantalla de cristal líquido en la cual mediante un micro controlador se puede visualizar caracteres alfanuméricos.

Figura 27. LCD de 4x16



Fuente:

http://dientuachau.com/page/index.php?_m=mod_product&_a=prdlst&cap_id=81

- **Interruptores.** Son dispositivos de regulación, nos permite abrir o cerrar el flujo de corriente, ya sea esto manual o automáticamente, accionando una variable en el sistema electrónico o eléctrico.

Figura 28. Interruptor simple



Fuente: <http://lauritatecnologia.blogspot.com/2011/01/metodo-de-proyectos.html>

- **Conmutadores.** Es un dispositivo el cual nos permite seleccionar el camino por el que deseamos que circule la corriente eléctrica

Figura 29. Conmutador



Fuente: <http://www.palcoelectronica.es/componentes/interruptores,pulsadores.html>

- **Pulsadores.** Son dispositivos que permiten el paso o bloqueo de corriente eléctrica mediante el accionamiento de un mecanismo, el cual retorna a su estado original cuando no hay una activación.

Figura 30. Pulsador



Fuente: <http://g1tmorato14.blogspot.com/2012/05/componentes-electronicos.html>

- **Potenciómetro.** Es un dispositivo el cual puede variar el valor de resistencia proporcionalmente al desplazamiento angular que se realice.

Figura 31. Potenciómetro



Fuente: http://www.electronicamedina.com/detalles_POTENCIOMETROS-Potenciometro-de-alambre-2W-Honeywell,22,17,13.htm

- **Keypad.** Es un dispositivo en forma de almohadilla que dispone de números y letras, en su interior posee pulsadores en el cual al momento de presionarlos envía un pulso caracterizando un dígito o letra

Figura 32. Keypad



Fuente: <http://hisavila.com/3ds/atmega/keypad.html>

CAPÍTULO III:

3. REDISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS: REDISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA, SISTEMA HIDRÁULICO, SISTEMA DE CONTROL

3.1 Condiciones iniciales del estado del banco de pruebas.

El sistema de control del banco de pruebas no presentaba un adecuado diseño ni requerimientos de funcionalidad afín a las características de otros bancos de marcas registradas

Presentaba un conteo de vueltas e indicador de revoluciones incorrecto, el panel de instrumentos constaba de sistemas obsoletos y en mal estado.

Figura 33. Sistema de control obsoleto



Fuente: Autores

El motor eléctrico no constaba de un aislamiento de contacto a la estructura, ya que en su configuración eléctrica interna posee una conexión a tierra de protección, produciendo una circulación de 120 VAC sin su fase de neutro.

Figura 34. Motor eléctrico



Fuente: Autores

La generación de ruido magnético era un factor de desestabilidad para los componentes electrónicos, produciendo fallos en el sistema.

El sistema hidráulico del banco no disponía de un acondicionamiento de temperatura para el fluido, teniendo en cuenta que las tablas de calibración presentadas por los fabricantes muestran una temperatura de trabajo del fluido.

La recirculación del fluido que se deposita en las probetas retorna a través de la bandeja de trabajo contaminándose con partículas de suciedad.

Figura 35. Conjunto de probetas



Fuente: Autores

La bomba inyectora con que estuvo el banco utilizada para realizar las calibraciones no se encuentra en funcionamiento

Figura 36. Bomba rotativa



Fuente. Autores

La estructura del banco presentaba corrosión superficial en diferentes partes, carecía de componentes de la estructura.

Figura 37. Condición inicial de la estructura



Fuente: Autores

3.2 Rediseño mecánico del banco de pruebas

Se busca el rediseño más adecuado para el banco de pruebas de bombas inyectoras Diésel para una bomba lineal tipo A, que debe cumplir con todos los exigencias de seguridad y funcionalidad obligatorios para este tipo de equipos. Para conseguir este objetivo se comenzó a partir de un modelo preliminar, rediseñando e implementado hasta conseguir un diseño definitivo que se detalla a continuación.

3.2.1 Parámetros para el rediseño. De las especificaciones técnicas que se tiene del equipo a rediseñar y tomando en cuenta el tipo de bomba y uso para su construcción, se parte de los siguientes parámetros de diseño los mismos que se describen a continuación

- Potencia del motor de corriente alterna trifásico 7.5 Hp (5600 W)
- Eficiencia del motor 80.1 %
- Velocidad nominal de giro del motor 1740 rpm

- Tipo de bomba de inyección Lineal tipo A
- Número de inyectores en la cámara 6

- Factor de seguridad mínimo requerido 3 (MOTT, 2006)

3.2.2 Cálculo de cargas. Para el rediseño del banco de pruebas se determinaron las siguientes cargas que en condiciones de funcionamiento normal van a estar soportadas por los elementos a diseñar.

- **Torque transmitido por el motor (T_m).** El torque transmitido por el motor viene dado por la siguiente fórmula:

$$P_{S_m} = \eta \cdot P_{e_m} \quad (1)$$

$$P_{S_m} = 0,801 * 5600 \text{ W}$$

$$P_{S_m} = 4485,6 \text{ W}$$

$$T_m = \frac{P_{S_m}}{\omega_m} \quad (2)$$

$$T_m = \frac{4485,6 \text{ N.m/s}}{182,21 \text{ rad/s}}$$

$$T_m = 24,61 \text{ N.m}$$

Donde:

$T_m =$ Torque del motor

$P_{S_m} =$ Potencia de salida del motor

$P_{e_m} =$ Potencia de entrada del motor

$$P_{e_m} = 5600 \text{ w}$$

$\omega_m =$ velocidad angular del motor

$$\omega_m = 182,21 \text{ rad/s}$$

$k =$ factor de servicio

$k = 1$ (para frenos en condiciones normales)

- **Peso de la bomba de inyección.** Según las especificaciones del fabricante el peso total de bomba inyectora es:

$$w_B = 100N$$

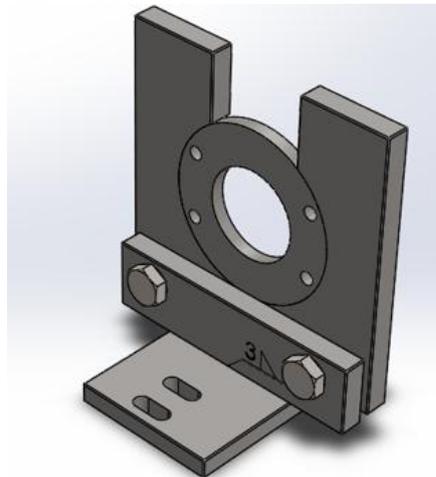
Donde

$w_B =$ peso de la bomba de inyección

3.2.3 Rediseño de la base para la bomba. El soporte primario donde estaba fijada la bomba anterior será modificada para trabajar con bombas diésel lineales, mediante ésta se logrará la sujeción de la bomba a la base para fijación en el banco, poseerá de un movimiento axial y adicionalmente constará de un movimiento radial para fijar con el punto centro del eje principal.

3.2.3.1 Modelado de la base para la bomba. La modelación se realizó en SolidWorks de acuerdo a la geometría y sujeciones de la bomba lineal A, ésta posee cuatro orificios en la parte frontal de la bomba, siguiendo estas características se modeló con la geometría mostrada en la figura.

Figura 38. Modelación de la base de la bomba



Fuente: Autores

3.2.3.2 Estudio estático de la base para la bomba. Modelado la base de la bomba en SolidWorks se realiza el análisis de esfuerzos estáticos con el complemento de SolidWorks Simulation en función del material, cargas y sujeciones determinadas.

- **Materiales.** La base debe soportar el peso de la bomba será construida en acero de 15mm este elemento se fabricará con acero AISI 1010 cuyas propiedades se muestran en la tabla.

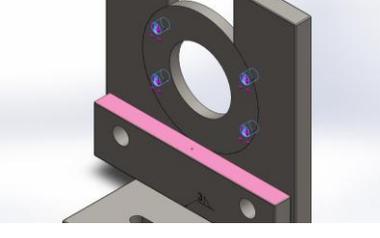
Tabla 1. Características del acero AISI 1010

Material	Resistencia a la fluencia	Resistencia a la tensión	Densidad
Acero AISI 1010 HR	180 MPa	320 MPa	7850 Kg/m ³

Fuente: Biblioteca de materiales de SolidWorks

- **Cargas y sujeciones.** La base posee una sujeción fija en su asiento que irá sujeta en la máquina, estará sometida a una carga vertical de 100 N debido al peso de la bomba en los cuatro pernos donde ira sujeta la misma como se muestra en la siguiente tabla.

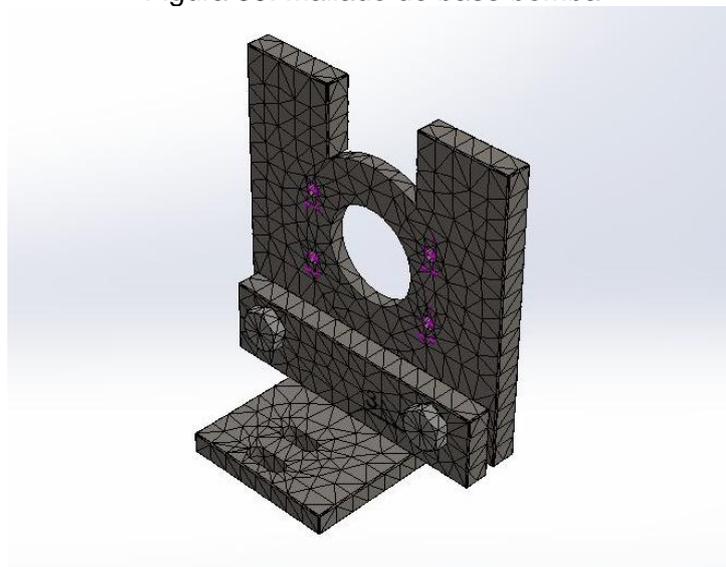
Tabla 2. Sujeciones y cargas de la base para la bomba

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción
Fijo-1	
Fuerza-1 100 N	

Fuente: Autores

- **Creación de malla y ejecución de estudio.** Asignadas las cargas y sujeciones se procede a realizar el mallado del elemento llamado base bomba para posteriormente ejecutar el estudio de diseño estático.

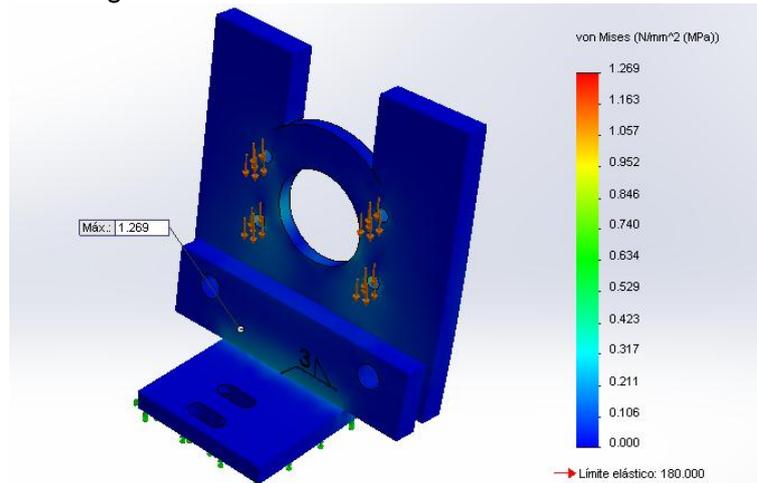
Figura 39. Mallado de base bomba



Fuente: Autores

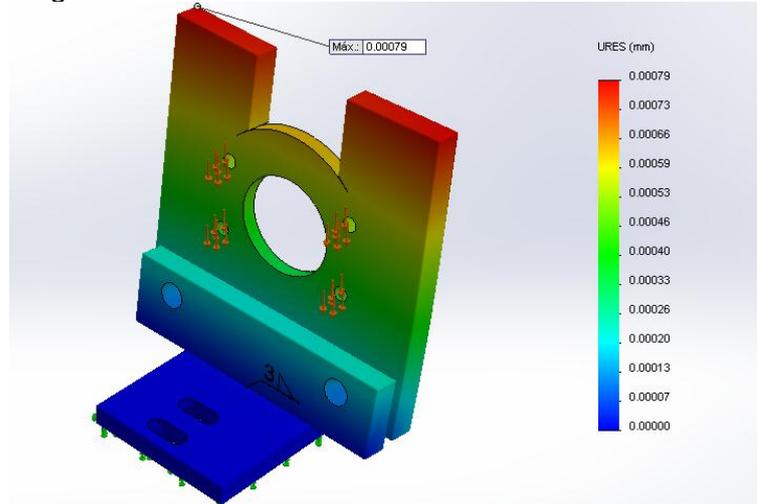
- **Análisis de resultados.** En la figura 40 se muestra la distribución de esfuerzos de Von Mises donde se muestra que la máxima tensión se produce en la unión de las dos placas con un valor de 1,26 MPa, al analizar la resistencia de fluencia del material acero AISI 1010 de 180 MPa tenemos que es mucho menor y el desplazamiento producido por la fuerza es de 0,00079 mm con lo que se concluye que la base soporta la bomba sin producir fallo.

Figura 40. Distribución de esfuerzos de la base



Fuente: Autores

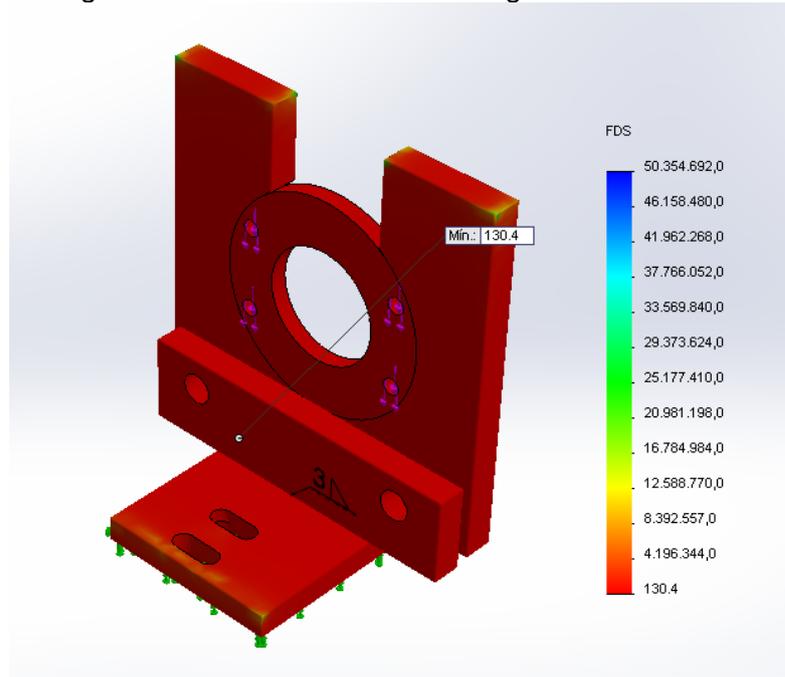
Figura 41. Distribución de las deformaciones de la base



Fuente: Autores

El estudio del factor de seguridad para la base se muestra en la figura 42, con un valor mínimo de 130,4, valor que es muy alto debido a las características del material, espesor y al rediseño de un modelo preliminar, ya que el valor recomendado para equipos de este tipo es de 3, validando y concluyendo que el rediseño es seguro.

Figura 42. Estudio del factor de seguridad de la base

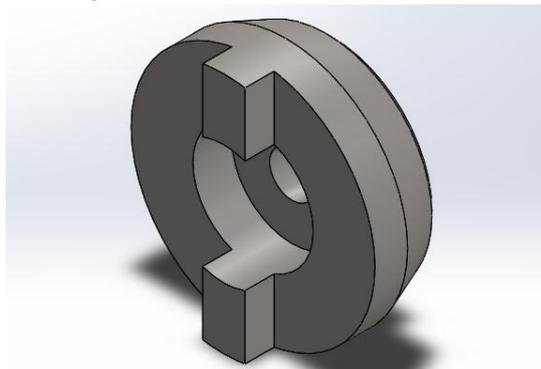


Fuente: Autores

3.2.4 *Diseño acople volante – bomba inyectora.* Elemento que ira acoplado al árbol de levas de la bomba de inyección y recibirá el torque proveniente del motor, esencialmente es una brida de acoplamiento tipo macho capaz de soportar el torque sin deformarse.

3.2.4.1 *Modelado del acople.* Se diseña según la forma cónica del árbol de levas con su respectivo chavetero, la geometría está en función al eje de salida del motor y se procedió a realizar el modelado en SolidWorks con la siguiente forma mostrada en la figura.

Figura 43. Modelación del acople



Fuente: Autores

3.2.4.2 Estudio estático del acople. Modelado el acople en SolidWorks se realiza el análisis de esfuerzos con el complemento de SolidWorks Simulation en función del material, cargas y sujeciones determinadas.

- **Materiales:** El acople recibirá el torque del motor por lo que se selecciona un material para el caso Acero AISI 1010 de fácil acceso y económico cuyas propiedades se muestran en la siguiente tabla.

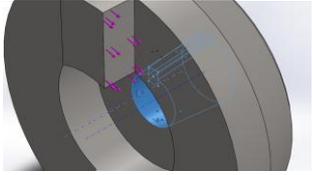
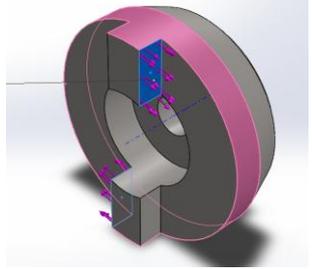
Tabla 3. Características del acero AISI 1010

Material	Resistencia a la fluencia	Resistencia a la tensión	Densidad
Acero AISI 1010 HR	180 MPa	320 MPa	7850 Kg/m ³

Fuente: Biblioteca de materiales de SolidWorks

- **Cargas y sujeciones.** El acople tiene una sujeción fija en el orificio donde se conecta al árbol de levas de la bomba y estará sujeto al torque del motor de 24,61 Nm, que se aplicará en la caras laterales de la brida como se muestran en la siguiente tabla.

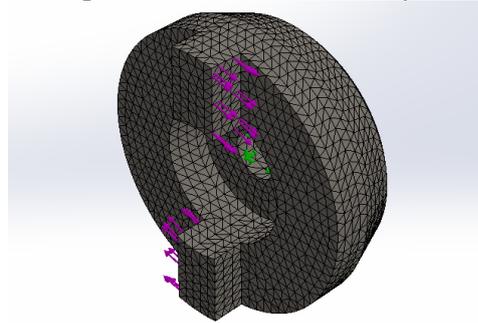
Tabla 4. Sujeciones y carga del acople

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción
Fijo-1	
Torsión-1 24,61 Nm	

Fuente: Autores

- **Creación de malla y ejecución del estudio.** Ya asignado las cargas y sujeciones se procede a realizar el mallado solido del acople bomba para posteriormente ejecutar el estudio de simulación.

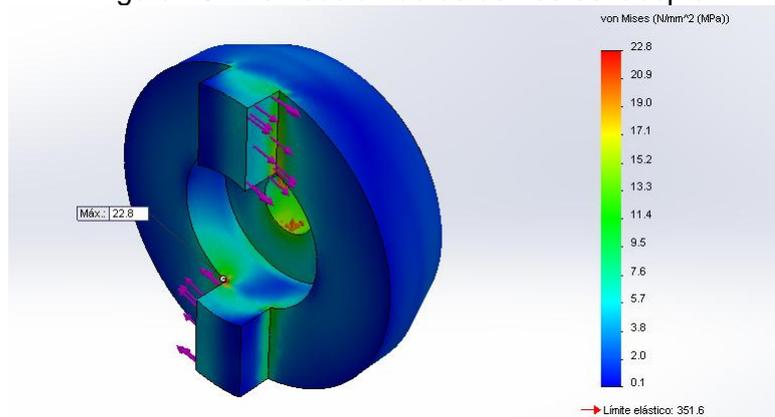
Figura 44. Mallado del acople



Fuente: Autores

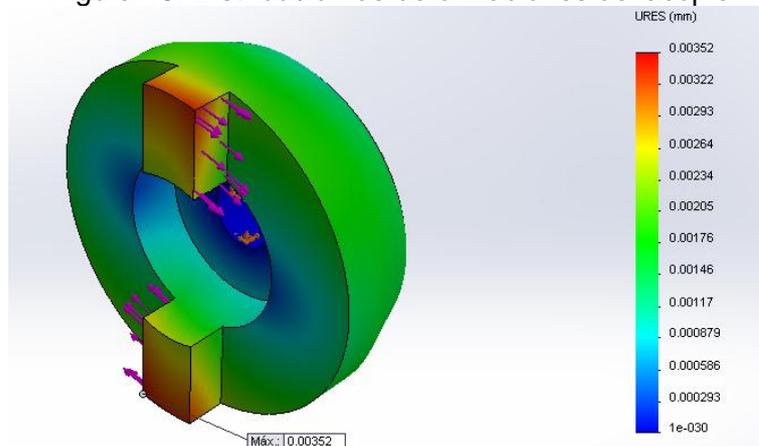
- **Análisis de resultados.** La distribución de esfuerzos de Von Mises del acople mostrada en la figura 45, se determinó que la máxima tensión se localiza en las dos salientes del acople con un valor de 22.8 MPa siendo mucho menor a la tensión de fluencia del material Acero AISI 1010 (180MPa), el desplazamiento máximo del acople es 0,00352 mm lo que no afecta al funcionamiento concluyendo que el elemento diseñado cumple las condiciones de trabajo sin presentar fallo.

Figura 45. Distribución de esfuerzos del acople



Fuente: Autores

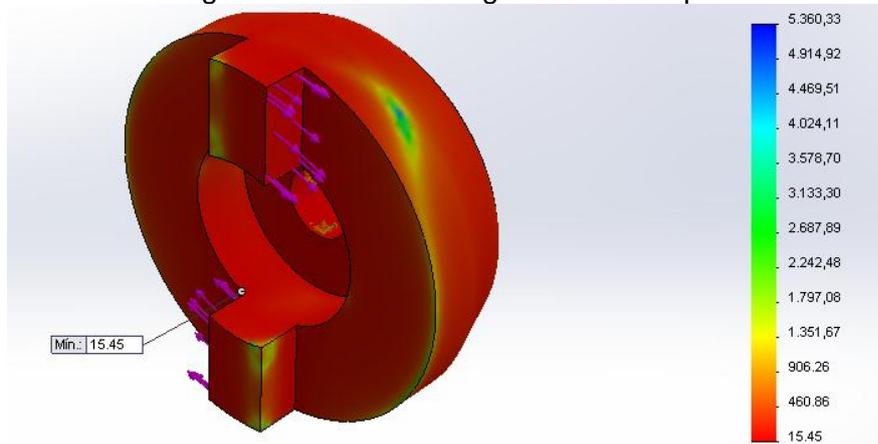
Figura 46. Distribución de deformaciones del acople



Fuente: Autores

El estudio del factor de seguridad que se muestra en la figura 47, tiene un valor mínimo de 15,45, este es mayor al recomendado de 3, concluyendo que el diseño es seguro y confiable.

Figura 47. Factor de seguridad del acople

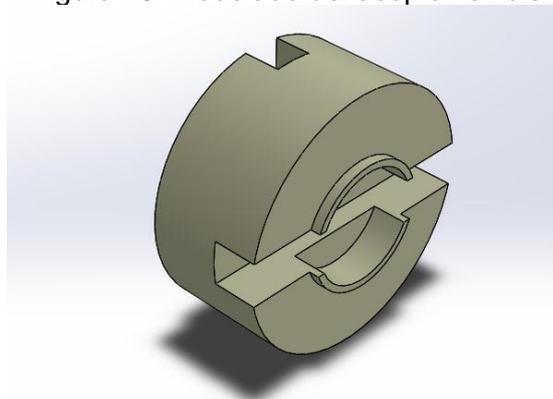


Fuente: Autores

3.2.5 Diseño del acoplamiento flexible. Este elemento de máquina se instalará entre el eje conductor y el conducido permitiendo el acoplamiento entre las partes, se utilizan para mitigar la vibración y los desajustes angulares, debido a su material flexible soporta el torque del motor.

3.2.5.1 Modelado del acople. Se diseña según las guías que poseen cada uno de los dos acoplamientos de los ejes, se procede a realizar el modelado en SolidWorks con la siguiente geometría mostrada en la figura.

Figura 48. Modelado del acople flexible



Fuente. Autores

3.2.5.2 Estudio estático del acople flexible. Modelado el acople flexible en SolidWorks se realiza el análisis de esfuerzos estáticos con el complemento de simulación en función del material, cargas y sujeciones determinadas.

- **Materiales.** El acople flexible recibe el torque del motor y las vibraciones del mismo por lo que se selecciona el material de acrílico de medio impacto capaz de absorber estas oscilaciones, características que se muestran en la siguiente tabla.

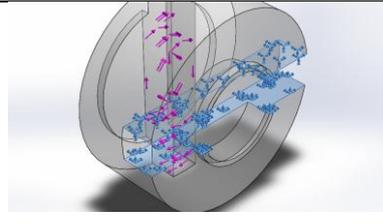
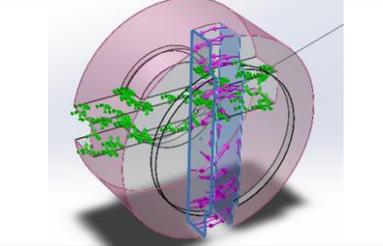
Tabla 5. Características del acrílico de medio impacto

Material	Resistencia a la fluencia	Resistencia a la tensión	Densidad
Acrílico de medio impacto	45 MPa	73 MPa	1200 Kg/m ³

Fuente: Biblioteca de materiales de SolidWorks

- **Cargas y sujeciones.** El acople flexible tiene una sujeción fija en las caras que conectan con el árbol de levas estará sujeto al torque del motor de 24,61 Nm, que se aplica en la caras entrantes como se muestran en la siguiente tabla.

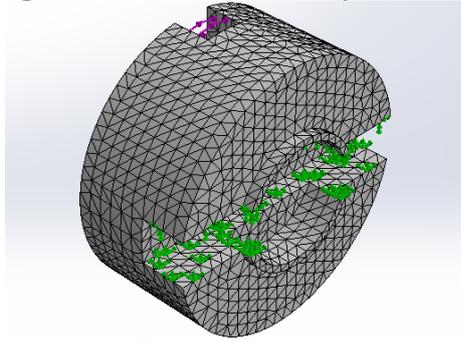
Tabla 6. Cargas y sujeciones del acople flexible

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción
Fijo-1	
Torsión-1 24,61 Nm	

Fuente: Autores

- **Creación de malla y ejecución del estudio.** Asignado las cargas y sujeciones se procede a realizar el mallado sólido del acople flexible y ejecutar el estudio de diseño de simulación.

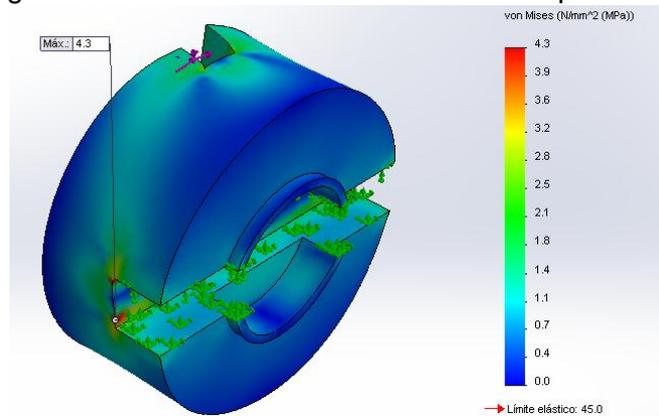
Figura 49. Mallado del acople flexible



Fuente: Autores

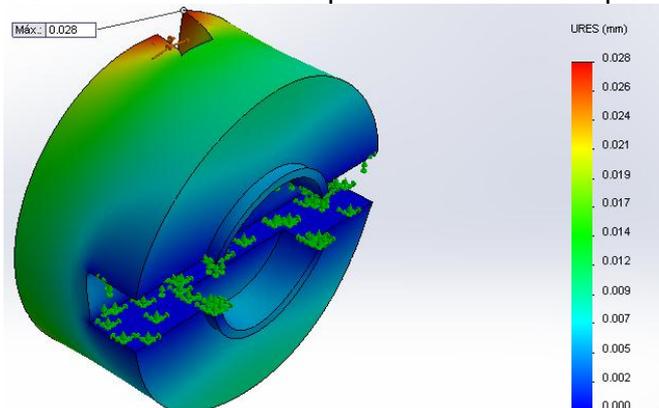
- **Análisis de resultados.** La distribución de esfuerzos de Von Mises del acople flexible mostrada en la figura 50, se determinó que la máxima tensión de 4,3 MPa localizado en las aristas donde el acople está fijo no supera a la tensión de fluencia del material 45MPa del acrílico y además el desplazamiento máximo de 0,028 mm permite flexibilidad al conjunto, el elemento diseñado cumple las condiciones de trabajo y no va a presentar fallo.

Figura 50. Distribución de esfuerzos del acople flexible



Fuente: Autores

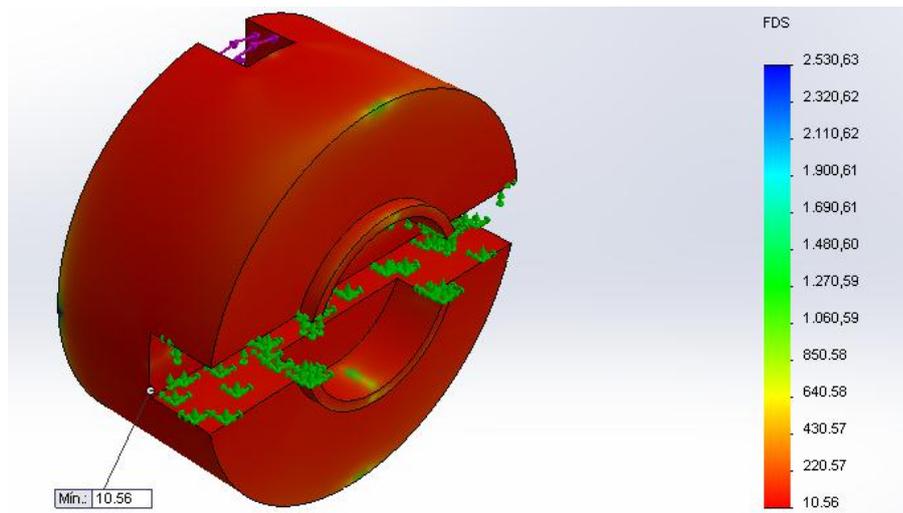
Figura 51. Distribución de desplazamientos del acople flexible



Fuente: Autores

El estudio del factor de seguridad del acople se muestra en la figura 52, la distribución del factor tiene un valor mínimo de 10,56 según las cargas aplicadas al elemento, este valor obtenido es mayor al recomendado de 3, concluyendo que el diseño es seguro y confiable.

Figura 52. Factor de seguridad del acople flexible



Fuente: Autores

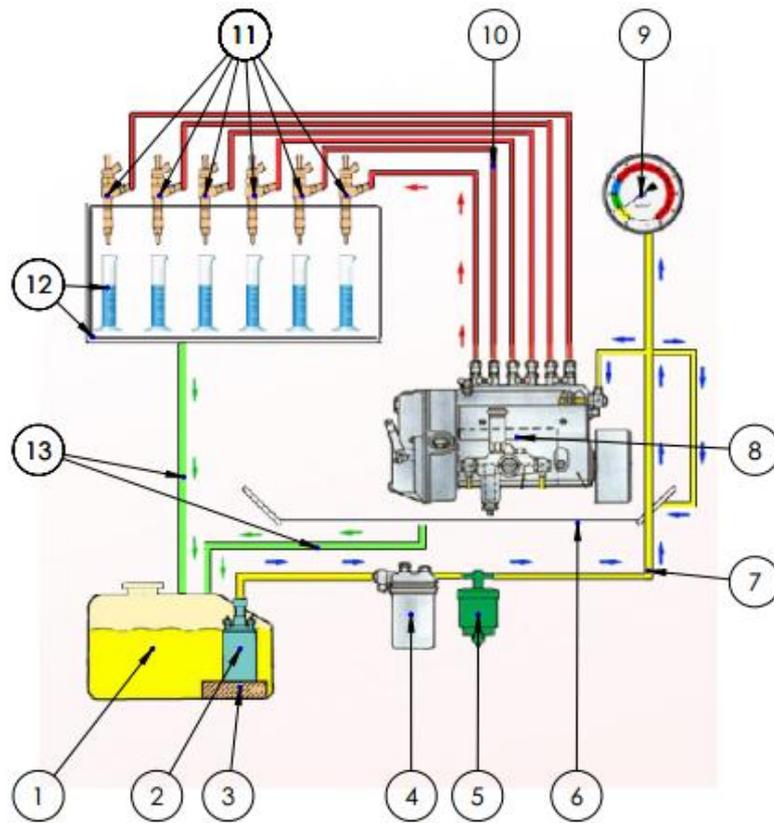
3.3 Rediseño del circuito hidráulico

El circuito hidráulico tiene como misión hacer llegar a las probetas graduadas la cantidad de fluido necesario en las diferentes condiciones de ajuste de la bomba mediante los elementos que componen el sistema y según las especificaciones dadas en las tablas de calibración.

El rediseño del circuito consistirá fundamentalmente en elegir elementos para el sistema de alimentación adecuados para mantener un flujo ideal y evitar caídas de presión excesivas, la selección de la capacidad de filtración micrométrica adecuada y la correcta selección de elementos es importante para lograr los niveles de limpieza y presiones requeridos en las normas para un funcionamiento seguro del banco.

3.3.1 Esquema del circuito hidráulico. El esquema expuesto en la figura 53, muestra el rediseño del circuito hidráulico del banco de pruebas, compuesto por tres sistemas fundamentales que son: el circuito de baja presión, el circuito de alta presión y el circuito de recirculación

Figura 53. Esquema del circuito hidráulico



Circuito de baja presión

- 1. Depósito del fluido
- 2. Bomba alimentadora
- 3. Filtro de la bomba alimentadora
- 4. Separador de agua
- 5. Filtro principal
- 6. Bandeja
- 7. Tuberías de baja presión

Circuito de alta presión

- 8. Bomba en línea
- 9. Manómetro
- 10. Tuberías de alta presión
- 11. Inyectores

Circuito de recirculación

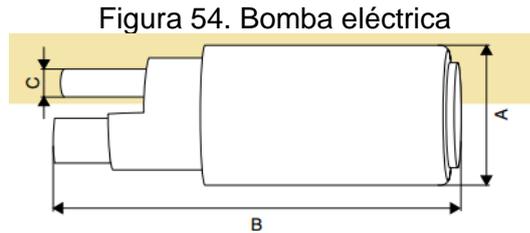
- 12. Juego de probetas
- 13. Tuberías de recirculación

Fuente: Autores

3.3.2 Circuito de baja presión. Es el circuito de alimentación, será el encargado de llevar el fluido de pruebas desde el depósito hasta la bomba inyectora necesario para la pulverización en las probetas.

3.3.2.1 Selección de la bomba alimentadora. La presión enviada desde la bomba alimentadora a la bomba inyectora es de 1 a 4 bares de acuerdo a las especificaciones mostradas en la tabla de calibraciones en las condiciones de ajuste inicial. (IMPERIAL, 2002)

Razón por la cual se ha seleccionado una bomba de combustible eléctrica internas al tanque con las siguientes características.



Fuente: Bombas eléctricas de combustible y pre filtros Bosch 2014

Tabla 7. Especificaciones técnicas de la bomba de combustible

Presión de prueba (Bar)	Caudal (l/hora)	Corriente máxima (A)	Voltaje (V)	A Diámetro externo (mm)	B Largo total (mm)	C Diámetro de salida (mm)	Conexión eléctrica
3,6 - 4	180	8	12	38	114	9,2	Terminal plano

Fuente: Bombas eléctricas de combustible y pre filtros Bosch 2014

3.3.2.2 Selección de elementos filtrantes. La capacidad de filtración micrométrica correcta viene dado por los niveles de limpieza impuestos por las normas ISO 4406 que indican la cantidad de partículas que están presentes en el fluido.

Es fundamental elegir el filtro adecuado para mantener un flujo apropiado y evitar caídas de presión excesivas.

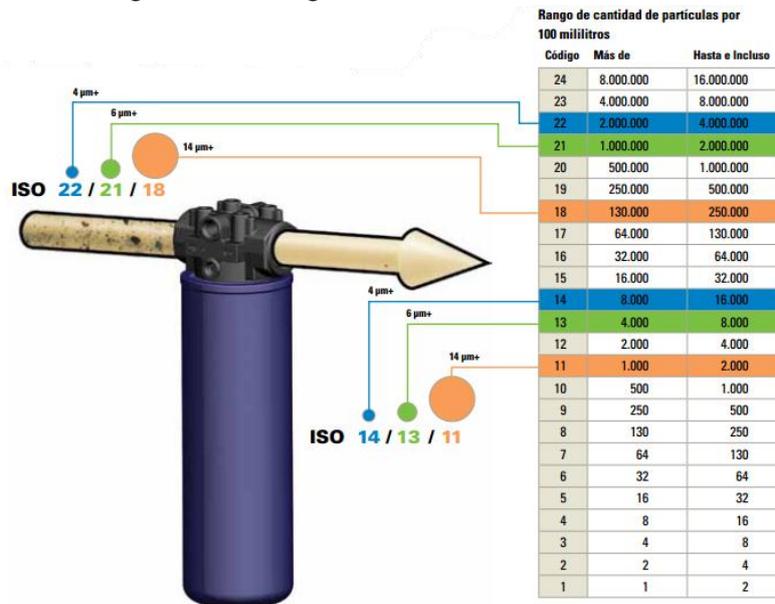
Figura 55. Niveles de limpieza ISO de la industria en general



Fuente: Sistemas Bulk

En la figura 55, se muestra el nivel de filtración que se requiere para sistemas de combustibles diésel que según la norma es ISO 14/13/11, razón por la cual se seleccionó el siguiente filtro JET filter P-033, que cumple la norma ISO 4406 obteniendo el nivel de limpieza deseado filtrando desde una contaminación ISO 22/21/18 y terminar con un nivel de limpieza ISO 14/13/11. (DONALDSON, 2014)

Figura 56. Códigos de contaminación ISO 4406



Fuente: Sistemas Bulk: Guía de Productos de Filtración

3.3.2.3 Selección de las tuberías de baja presión. Para la selección de las tuberías se debe tomar en cuenta aspectos como soportar hidrocarburos y presiones, ser resistentes a la abrasión y condiciones atmosféricas.

Se seleccionó un tubo de formulación especial de NBR (caucho nitrílico) con refuerzo de hilos trenzados formulada para evitar el ataque de aceites y grasas, su temperatura de trabajo está entre -35°C y 70°C y cumple con la norma ISO 1307, lo que le permite mantener sus propiedades mecánicas intactas, a continuación se detalla la tubería seleccionada con sus propiedades mecánicas.

Tabla 8. Especificaciones técnicas tubería NBR

Diámetro interior	Diámetro exterior	Presión de trabajo	Presión de ruptura	Radio de curvatura	Peso
mm	Mm	bar	bar	mm	g/m
13	23	10	30	130	260

Fuente: Eguía, Manufacturas de goma, S.L.

3.3.3 Circuito de alta presión. Es el circuito de inyección, será el encargado de introducir, pulverizar y repartir en las probetas la cantidad de fluido en las diferentes puestas a punto de la bomba inyectora.

3.3.3.1 Selección de tubos de alta presión. Las cañerías deben soportar la presión máxima del sistema, ya que el paso del fluido en el interior puede alcanzar hasta 1200 bar, por esta razón se seleccionó tubos de acero sin costura y de alta resistencia.

Figura 57. Cañerías de acero



Fuente:

http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/360713774/178F_Diesel_engine_High_pressure_tubing.jpg

Según las tablas de calibración para equipos de inyección diésel al realizar los ajustes de la bomba inyectora es fundamental seleccionar las cañerías correctas y de la misma longitud ya que llegaría a unos inyectores más rápido que a otros y el comienzo de la inyección sería diferente, las características de las cañerías vienen detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 9: Condiciones de ajuste equipos ZEXEL

Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Longitud (mm)	Rosca Bomba	Rosca Inyector
2	6	600	M12 x 1.5	M14 x 1.5

Fuente: Base de datos ZEXEL

3.3.4 Circuito de recirculación. Este será el encargado de coleccionar el fluido que se encuentra en las probetas y bandeja de trabajo después de realizar las calibraciones, enviando el fluido hacia el depósito.

Para las tuberías se seleccionó tubos de caucho NBR resistente a los hidrocarburos, condiciones abrasivas y contaminantes, este rediseño permite que el fluido se contamine menos y se prolongue la vida útil de los elementos filtrantes.

Figura 58. Cañerías de recirculación

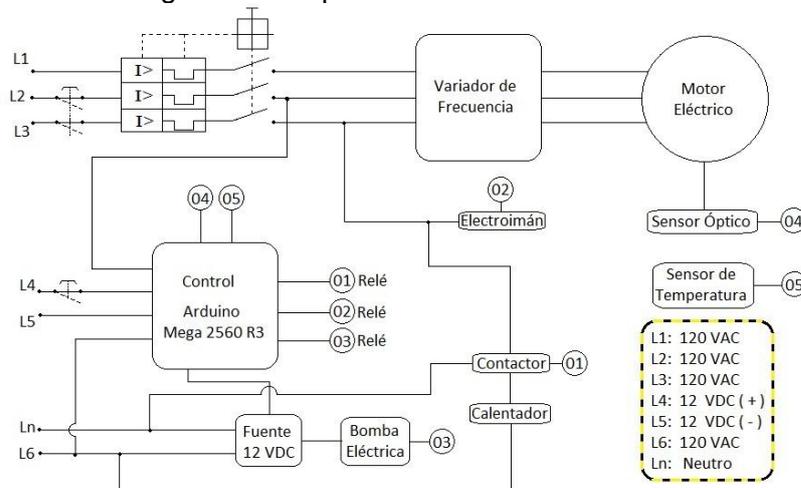


Fuente: <http://pinturas-online-ditega.com/mangueras-flexibles-de-caucho.jpg>

3.4 Diseño eléctrico y electrónico del banco de pruebas

- *Esquema del diseño eléctrico–electrónico.* El esquema muestra la configuración eléctrica y electrónica del banco.

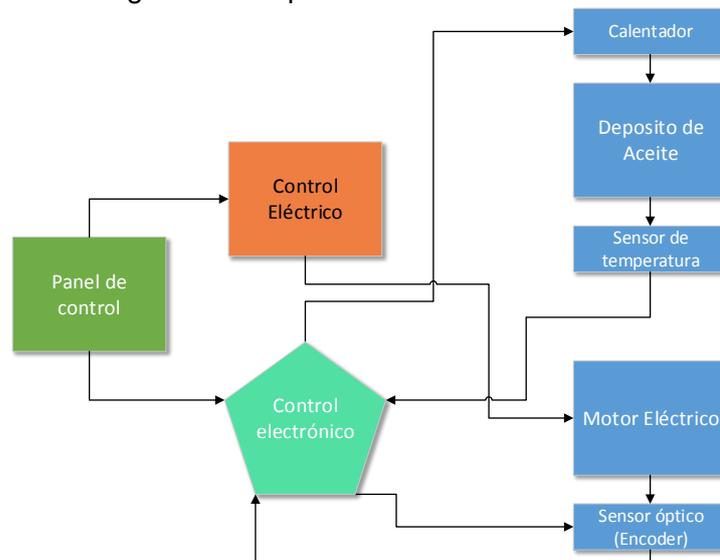
Figura 59. Esquema del diseño de control



Fuente: Autores

- *Esquema del sistema de control.* El esquema muestra el diseño del sistema de control del banco

Figura 60. Esquema de control del banco



Fuente: Autores

3.4.1 *Diseño electrónico.*

El objetivo es diseñar una unidad de control para el banco que contendrá toda la circuitería necesaria para el funcionamiento total del equipo, será la encargada de ejecutar, enviar y recibir todas las señales mediante los diferentes sensores y actuadores

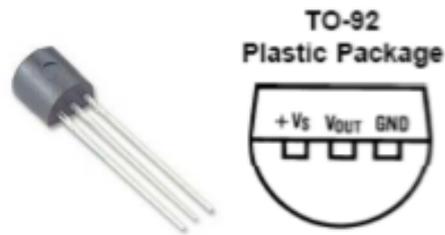
3.4.1.1 Selección de elementos y dispositivos de la unidad de control electrónico. Esta unidad dispondrá el circuito necesario para el funcionamiento del control del banco. El sistema de control electrónico controlará, en forma automática el actuador para el control de temperatura del fluido, el ingreso de los parámetros de calibración para la bomba, mostrará en forma visual los datos como: temperatura del fluido, numero de revoluciones del motor y numero de vueltas.

- **Arduino Mega 2560 R3.** Se seleccionó el Arduino Mega 2560 R3 dispone de un microcontrolador ATmega16u2 lo que permitirá la mayor ratios transferencia (datos transmitidos en bites por unidad de tiempo), posee un oscilador de cristal de 16 MHz.
- **Módulo Bluetooth HC-05.** Se seleccionó un módulo HC-05 esencial para comunicaciones con el Arduino, este dispositivo permitirá enlazar comunicación de datos desde un sistema operativo Android, que disponga de conectividad Bluetooth hacia el Arduino.
- **Alimentación unidad de control electrónico.** Se seleccionó este cargador para que realizara la carga de una batería de 12 VCD libre de mantenimiento cuya alimentación deberá ser de 110 VAC.

Sensores y actuadores

- **Sensor de temperatura.** Se seleccionó este dispositivo que se encargará de medir la temperatura que se encuentra en el fluido del depósito y enviará una señal al sistema de control, es un sensor integrado de precisión LM35 como se muestra en la figura 61, cuyo voltaje de salida es proporcional a la temperatura en grados Celsius, este sensor no requiere ninguna calibración ya q posee una precisión de ± 1.4 grados Celsius, presenta un rango de temperatura de -55°C a 150°C , con un factor de 0.1°C de auto temperatura.

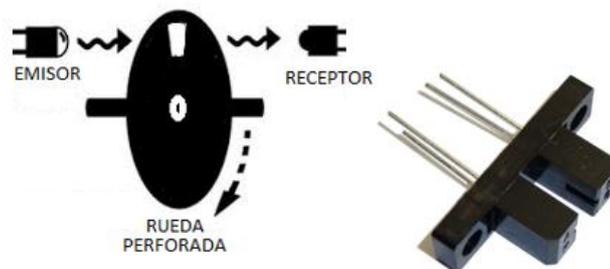
Figura 61. Sensor de temperatura LM35



Fuente: http://www.el-component.com/images/reference/transistor/to-92_cbe.jpg

- **Sensor óptico.** Se seleccionó este sensor para ser utilizado en la medición de la velocidad del motor eléctrico, a la vez se utilizará para contar el número de vueltas y controlar el caudal respectivo para las calibraciones, consta de un emisor y receptor infrarrojo como lo indica la figura.

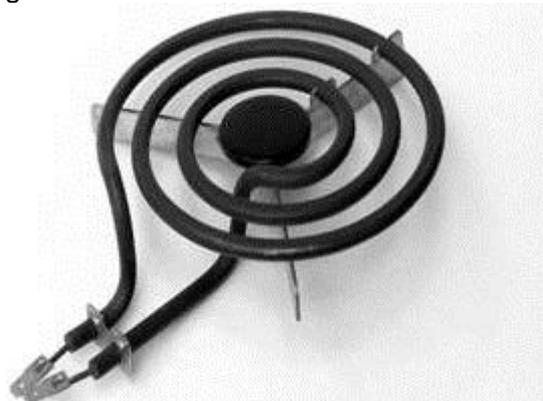
Figura 62. Encoder



Fuente: <http://arduinobymyself.blogspot.com/2012/08/arduino-chave-optica.html>

- **Calentador del depósito.** Se seleccionó un dispositivo que permitirá calentar el fluido mediante dos tubos térmicos de una estufa eléctrica con una potencia de 1100W por cada uno, a este se lo controlará a través de un contactor siemens 3RT2024-1AN20, siendo utilizado por el alto flujo de corriente requeridos por los calentadores.

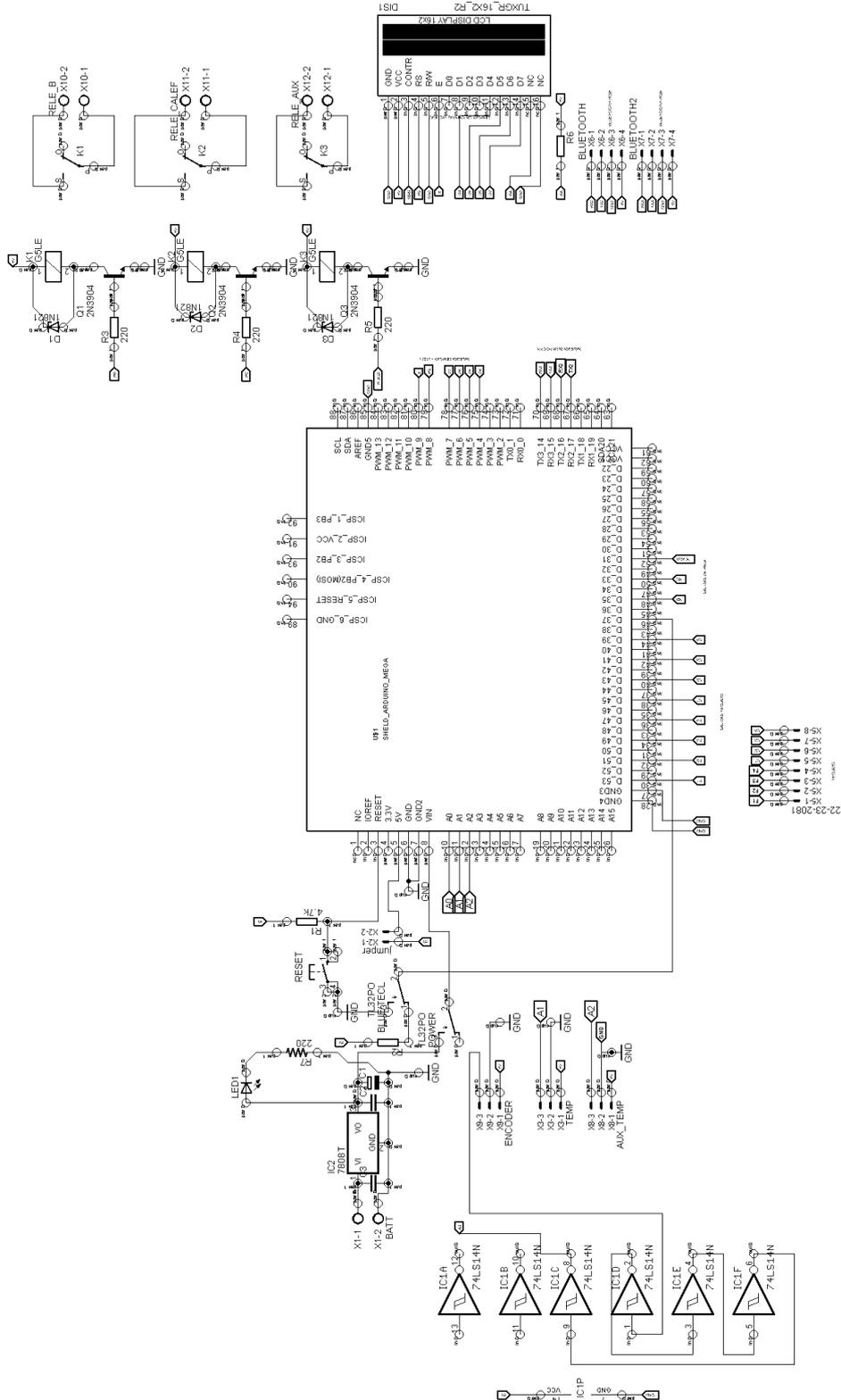
Figura 63. Resistencia del calentador



Fuente: Autores

3.4.1.2 Diseño del circuito electrónico. Se muestra, la figura 64, el diseño de la placa de componentes electrónicos, la fuente interna de alimentación del Arduino, entrada de señales de los distintos sensores, las salidas controladas.

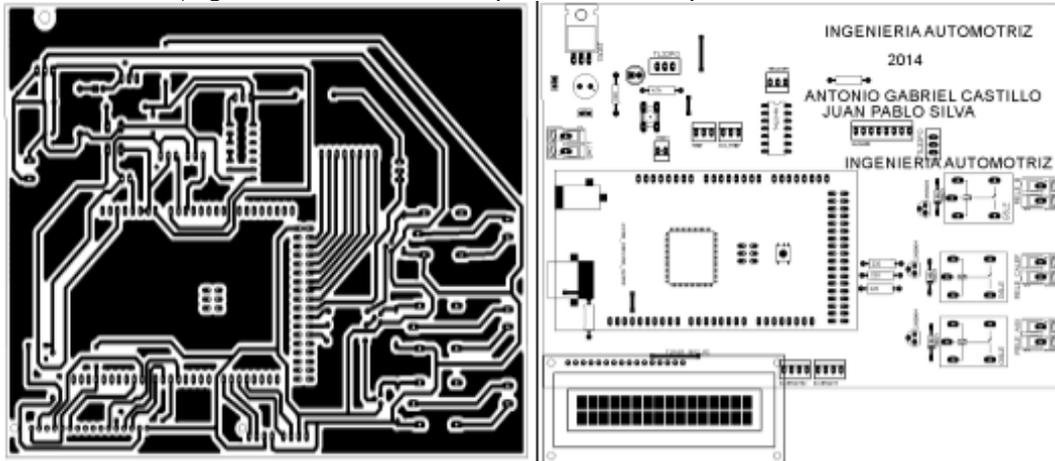
Figura 64. Diseño electrónico



Fuente: Autores

3.4.1.3 *Diseño de la placa portadora del circuito electrónico.* El diseño, Figura 65, diseñado en el software Eagle permite la conexión de los elementos mediante librerías para cada componente.

Figura 65. Diseño de la placa vistas superior e inferior



Fuente: Autores

3.4.1.4 *Selección de componentes del panel de control*

- **Keypad.** Se seleccionó un panel de 4x4 alfanumérico, posee números del 0 al 9 y caracteres de texto desde A hasta D, lo que permitirá el ingreso de los datos con una buena comunicación con el Arduino.
- **Botón de inicio.** Se seleccionó un pulsador normalmente abierto, su estructura es industrial y permitirá alargar su uso ante los diferentes tipos de manipulación.
- **Botonera ON/OFF.** Se seleccionó ésta botonera ya que consta de un botón ON con enclavamiento y un sistema mecánico, que al momento de pulsar el botón OFF desconecta el enclavamiento anterior.
- **Interruptor termomagnético.** Se seleccionó este dispositivo que será capaz de interrumpir el flujo de corriente cuando ésta sobrepasa los valores máximos en caso de sobrecargas y cortocircuitos, ya que consta de dos circuitos un electroimán y una lámina bimetálica conectados en serie.
- **Switch con protección de sobrecarga.** Se seleccionó para ser utilizado para proteger al sistema de sobrecarga, ya que posee una protección de elevación de temperatura y pérdida de fase.

- **LCD.** Se seleccionó un LCD de 16x4, en el cual visualizará el número de RPM del motor, la temperatura del depósito de fluido y el número de vueltas a contar.
- **Conmutador.** Se seleccionó este dispositivo para ser utilizado como el seleccionador del método de entrada de datos ya sea este, Keypad o mediante una conexión Bluetooth.
- **Interruptor de cambio de sentido de giro.** Se seleccionó para ser el encargado de cambiar el sentido de giro del motor eléctrico ya sea para una bomba de giro izquierdo o de giro derecho.
- **Botón de reset de unidad de control electrónico.** Se seleccionó este pulsador para ser el encargado de proporcionar un pulso eléctrico al Arduino para reiniciar el sistema en caso de fallo del software.
- **Potenciómetro variador de velocidad.** Se seleccionó este potenciómetro ya que su valor de resistencia es de 5k Ω , y nos permitirá variar la velocidad de giro del motor hasta llegar a la velocidad establecida de acuerdo a los parámetros de calibración.
- **Botón de parada de emergencia.** Se seleccionó este interruptor de presión manual que desconectará el sistema de control eléctrico para detener el giro del motor en caso de emergencia.

Figura 66. Elementos del panel de control



Fuente: Autores

3.4.2 Rediseño del control eléctrico. La unidad de control eléctrico está dado por un variador de frecuencia Siemens de modelo Micromaster 420, figura 66, este proporciona un control de velocidad rotacional para un motor de corriente alterna, su control lo realiza a través de la variación de frecuencia suministrada al motor, estos variadores son también conocidos como AFD (Adjustable Frequency Drive).

Figura 67. Micromaster 420



Fuente: Autores

3.4.2.1 Instalación de micromaster 420

Para la puesta en servicio del variador de frecuencia para el motor eléctrico se adopta el esquema de instalación planteado por el fabricante.

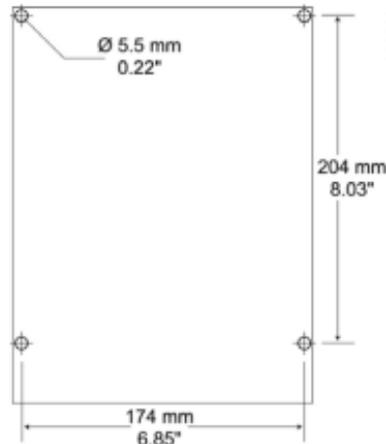
Figura 68. Esquema de configuración del micromaster



Fuente: Autores

- **Instalación mecánica micromaster 420.** Consta de un apoyo fijo proporcionado por cuatro tornillos M5, cuatro tuercas M5, 4 arandelas M5, el par de apriete debe ser de 3.0 Nm como indica la figura.

Figura 69. Instalación mecánica del micromaster



Siemens Micromaster 420 guía rápida

- **Instalación eléctrica micromaster 420.** Las líneas de corriente eléctrica 360V deben conectarse en la parte izquierda del Micromaster, la salida para el motor eléctrico se realiza en la parte derecha del Micromaster como lo indica la figura.

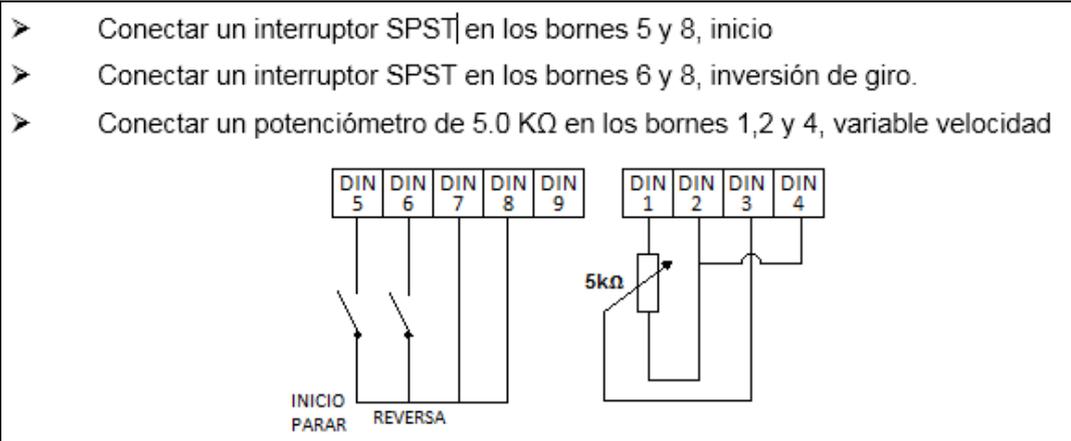
Figura 70. Conexión del micromaster



Fuente: Autores

- **Configuración de los terminales de comunicación.** Se realizará un nuevo diseño para el control del motor eléctrico mediante pulsadores y un potenciómetro, lo que permite una mejor accesibilidad del banco, para esto realiza la siguiente configuración a los bornes, como indica la figura 71.

.Figura 71. Configuraciones de los bornes



Fuente: Manual micromaster 420

- **Configuración de los parámetros del motor con el panel BOP**

Tabla 10. Parámetros de configuración

Nº DE PARÁMETRO	REFERENCIA DE PARÁMETRO	AJUSTE
P0010	Puesta en servicio	0
P0100	Frecuencia Europa/Norteamérica	1
P0304	Tensión nominal del motor	220V
P0305	Corriente nominal del motor	11.6 A
P0307	Potencia nominal del motor	7.5 HP
P0310	Frecuencia nominal del motor	60HZ
P0311	Velocidad nominal del motor	1740 rpm
P0700	Selección de fuente de ordenes	2
P1000	Selección de consigna de frecuencias	2
P1080	Frecuencia mínima del motor	5
P1082	Frecuencia máxima del motor	60
P1120	Tiempo de aceleración	5
P1121	Tiempo de deceleración	5

Fuente: Manual micromaster 420

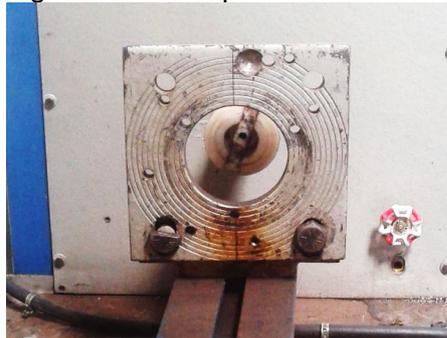
CAPÍTULO IV

4. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN, MONTAJE E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL BANCO

4.1 Construcción del sistema mecánico

4.1.1 Construcción de la base para la bomba. La base principal fue rediseñada de acuerdo a especificaciones de bancos similares, se procedió a realizar las modificaciones para que pueda acoplarse a la bomba lineal tipo A con sujeciones en la parte frontal, se realizó cuatro perforaciones en la placa para que pueda sujetarse la bomba, en figura se muestra la base antes de ser rediseñada.

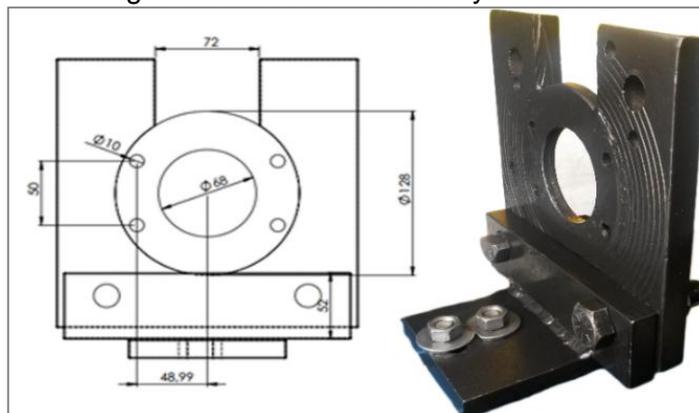
Figura 72. Base previa al rediseño



Fuente: Autores

En función a los planos se procedió a realizar las modificaciones en la base obteniendo el siguiente resultado.

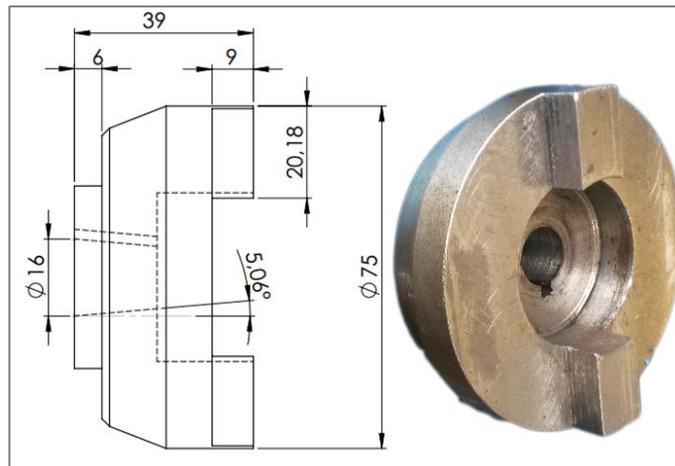
Figura 73. Base rediseñada y fabricada



Fuente: Autores

4.1.2 Construcción del acople bomba-motor. El acople bomba-motor fue manufacturado de acuerdo a los planos realizados en la fase de diseño, realizándolo en tres etapas de fabricación en diferentes máquinas herramientas, la primera etapa en el torno a partir de un eje de 80mm de acero AISI 1010, un desbastado de la superficie en una cepilladora y la conicidad fue realizada en una fresadora teniendo como resultado la siguiente base mostrada en la figura.

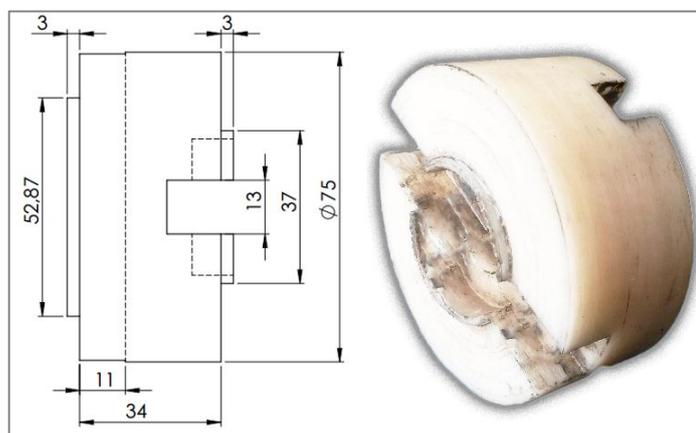
Figura 74. Acople motor terminado



Fuente: Autores

4.1.3 Construcción de la junta flexible. La junta flexible fue construida en un material de acrílico de medio impacto capaz de absorber las vibraciones producidas en el conjunto, maquinado en un torno de acuerdo a las salidas que posee tanto el eje motor y el acople de la bomba, resultado del diseño y fabricación se muestra en la figura el acople terminado.

Figura 75. Acople flexible terminado



Fuente: Autores

4.1.4 Construcción del sistema de recirculación. Para la recirculación del fluido se realizaron modificaciones al conjunto que aloja a las probetas, se procedió a realizar una extensión con chapa metálica de 1 mm de espesor en la parte posterior de la caja para puedan girar hacia adentro para evitar que el aceite de prueba se deposite en la bandeja.

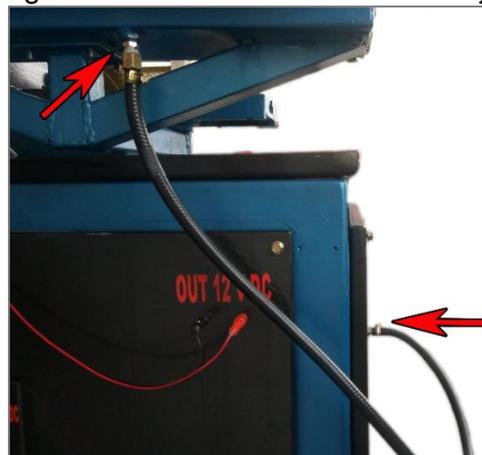
Figura 76. Rediseño del conjunto de probetas



Fuente: Autores

En la parte inferior de la caja de las probetas se perforó un agujero de 13 mm de diámetro y se instaló un acople metálico para su conexión a la manguera, en la tapa lateral se realizó un perforación para un nepló de ¼ que conecta con la cañería que va hacia el depósito.

Figura 77. Recirculación de la bandeja



Fuente: Autores

4.1.5 Montaje del calentador eléctrico. El control de temperatura del fluido se lo realizo con un calentador eléctrico de dos tubos térmicos soldado a la estructura mediante cuatro cordones con un proceso de arco eléctrico, el calentador está en contacto directo con la base del depósito mediante una transferencia de calor por conducción directa.

Figura 78. Proceso de soldadura



Fuente: Autores

Después de soldar a la estructura se procedió a pulir la escoria del cordón y se alisó la superficie de la soldadura con la amoladora mostrando el resultado en la figura.

Figura 79. Calentador instalado en la estructura



Fuente: Autores

4.2 Acondicionamiento de la estructura del banco

4.2.1 Reparación de daños en la superficie por oxidación. Para reparar la superficie en primer lugar se procedió a lavar y desengrasar las superficies, utilizando una lija del grano 240 se desbastó el área afectada hasta obtener una superficie limpia, con un acondicionador de metales se limpió el metal descubierto, el acondicionador ayuda a neutralizar el óxido y mejora la adherencia de la pintura.

Figura 80. Oxidación superficial presente en la estructura



Fuente: Autores

En el eje de salida existía una capa fina de óxido que se procedió a lijar con un papel del grano 400, posteriormente para obtener un mejor acabado superficial se utilizó una lija más fina del grano de 1200.

Figura 81. Presencia de óxido en el eje



Fuente: Autores

Figura 82. Acabado final del eje de salida



Fuente: Autores

4.2.2 Preparación de las superficies y pintado del banco. Después de haber eliminado los puntos de óxidos, se procedió a lijar la estructura del banco y las tapas laterales con una lija del número 180 hasta alisar la capa de pintura anterior.

Con un lijado en húmedo con un grano del 400 se obtuvo una superficie totalmente liza lo que ayuda que la pintura se adhiera al acabado antiguo.

Figura 83. Lijado de las superficies



Fuente: Autores

Una vez terminado el lijado en húmedo se limpió las superficies con un compresor de aire, posteriormente se aplicó la capa de pintura anticorrosiva en la estructura y tapas laterales lo que protegerá al metal de la estructura del banco de las condiciones ambientales adversas.

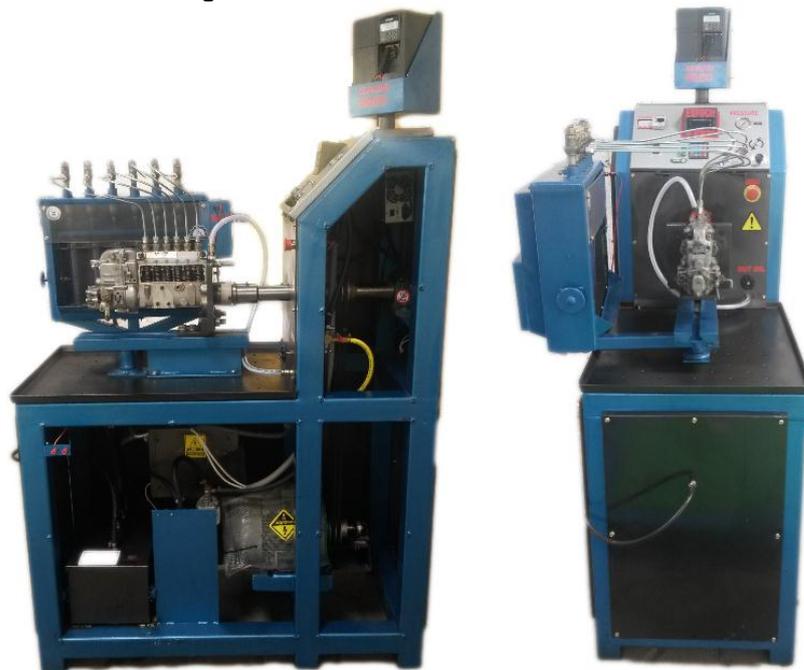
Figura 84. Proceso de pintura del banco



Fuente: Autores

Posterior al pintado se procedió a colocar las tapas laterales con pernos tropicalizados dando un mejor aspecto a la máquina, también se realizó una señalización de los posibles riesgos por manipulación con sus respectivos logos de precaución, funcionamiento y seguridad.

Figura 85. Acabado final del banco



Fuente: Autores

4.3 Implementación del sistema hidráulico

4.3.1 Instalación de la bomba alimentadora. La bomba alimentadora está colocada en la tapa del depósito fijada mediante neoprenos de ¼ para baja presión y mangueras con sus abrazaderas a una altura de 1 cm por encima de la base del depósito para evitar que absorba partículas de suciedad.

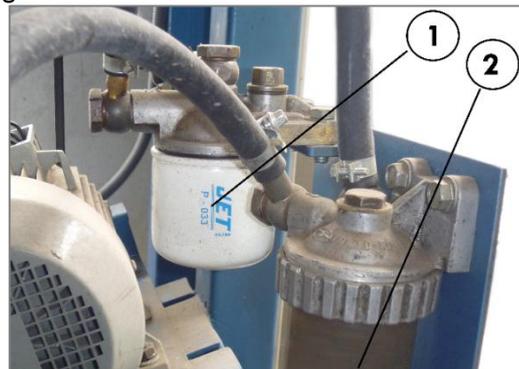
Figura 86. Instalación de la bomba alimentadora



Fuente: Autores

4.3.2 Instalación de los elementos filtrante. Para el sistema de filtrado se instaló dos elementos un filtro primario JET filter P-033 (1) anclado mediante su base en la estructura mediante dos pernos M10 y un decantador de agua (2) igualmente se utilizó dos pernos M8 para fijar la base en la estructura del banco de prueba.

Figura 87. Instalación de elementos filtrantes



Fuente: Autores

4.3.3 Instalación de las cañerías

4.3.3.1 Instalación de cañerías para baja presión. Para el sistema de baja presión, las conexiones hidráulicas se utilizaron mangueras de caucho detalladas a continuación en la tabla 11:

Tabla 11. Descripción de las cañerías para baja presión

Conexión		Material	Diámetro interno	Longitud
Bomba eléctrica	Decantador	Caucho NBR	13 mm	30 cm
Decantador	Filtro principal	Caucho NBR	13 mm	20 cm
Filtro principal	Distribuidor	Caucho NBR	13 mm	50 cm
Distribuidor	Llave de paso	Caucho NBR	13 mm	5 cm
Distribuidor	Bandeja	Caucho NBR	13 mm	30 cm
Distribuidor	Manómetro	Caucho NBR	13 mm	15 cm
Caja de probetas	Tapa lateral	Caucho NBR	13 mm	80 cm
Tapa lateral	Depósito	Caucho NBR	13 mm	18 cm
Bandeja	Depósito	Caucho NBR	13 mm	15 cm

Fuente: Autores

Para la conexión desde la salida de la llave de paso hasta la entrada de la bomba se utilizó manguera de nylon de 12 mm remachada por un lado con un acople de bronce de $\frac{1}{4}$ y en el otro extremo un acople tipo ojo de 12 mm.

Figura 88: Conexión de alimentación a la bomba inyectora



Fuente: Autores

4.3.3.2 Instalación de cañerías de alta presión. Para las conexiones de alta presión se utilizó tubos metálicos seleccionados en la fase de diseño, estos tubos vienen de fábrica totalmente rectos para lo cual se procedió a doblar en función a la ubicación de los componentes como son los racors de impulsión de la bomba y los inyectores, considerando que deben quedar alineados con las salidas de la bomba y las conexiones de los inyectores, esto evita que existan fugas al momento que esté en funcionamiento.

Figura 89. Instalación de cañerías de alta presión

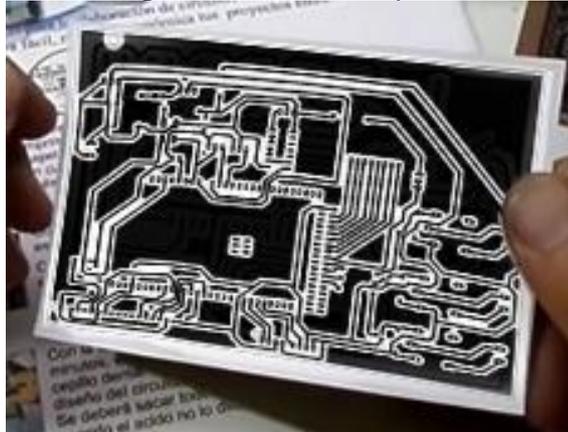


Fuente: Autores

4.4 Fabricación del sistema de control

4.4.1 *Elaboración de la placa.* En este circuito se ubicará el arduino y sus respectivos componentes electrónicos, se ha diseñado las líneas de conexión con la ayuda del software Eagle con su respectiva librería de los componentes y se imprimió en papel termo transferible.

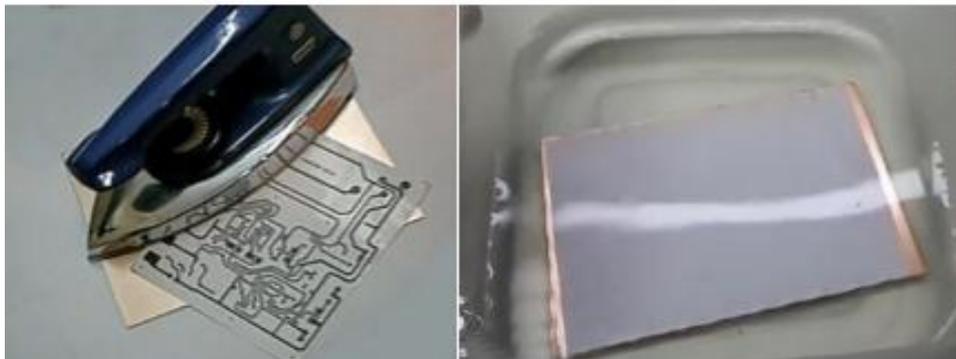
Figura 90. Circuito impreso



Fuente: Autores

Se realizó la transferencia del circuito impreso a la placa de baquelita con la ayuda de una plancha a temperatura media, el tiempo medio de aplicación de temperatura debe estar en el rango de 3 a 5 minutos, posteriormente se sumergió la placa con el papel termo transferible en agua por un tiempo de 5 minutos para poder extraer el papel de la placa.

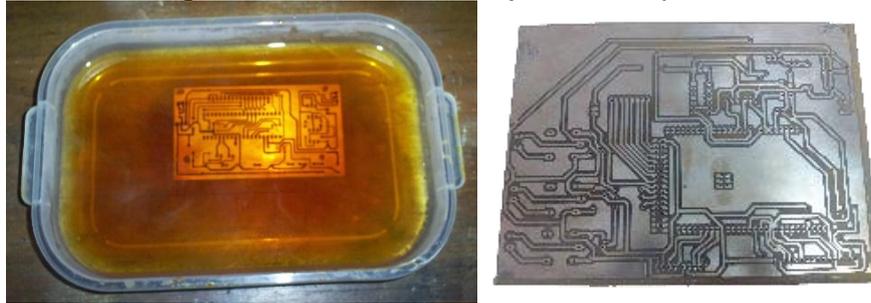
Figura 91. Proceso de transferencia del circuito



Fuente: Autores

Retirado el papel superficial con cuidado de no dañar la impresión, se sumergió la placa en cloruro férrico, para que se desprenda las partes de cobre que no consta de impresión.

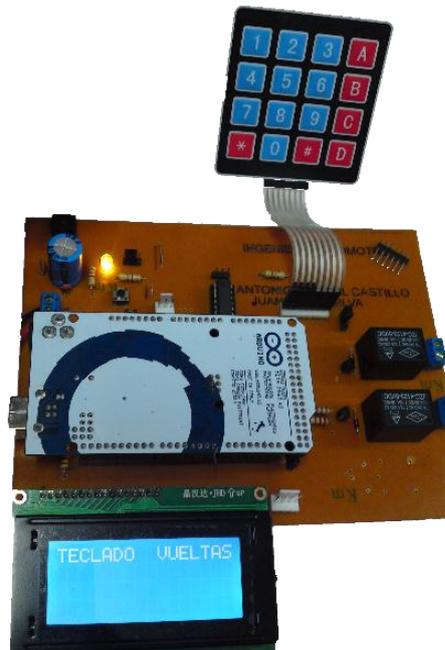
Figura 92: Proceso de dibujado de las pistas



Fuente: Autores

Se realizó las perforaciones respectivas donde irán instalados los componentes electrónicos en la placa, se colocó los conectores para la placa arduino y los periféricos de entrada y salida y se comprobó el funcionamiento correcto de la placa, Arduino y elementos.

Figura 93. Circuito electrónico con sus componentes

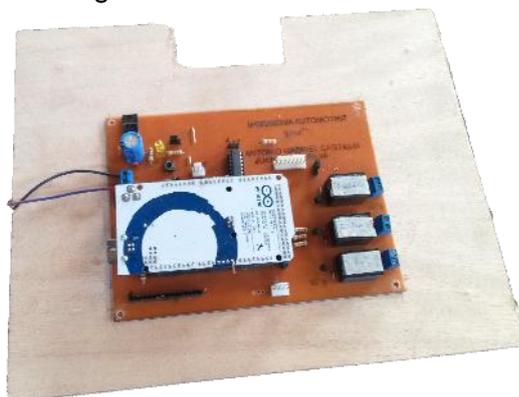


Fuente: Autores

4.5 Implementación del sistema electrónico y eléctrico en el banco

4.5.1 Montaje de la placa en el banco. Se colocó la placa con sus componentes en una base en madera para aislar y evitar el contacto con la estructura, la placa va ubicada en un cajón de la estructura con su respectiva señalización.

Figura 94. Circuito electrónico



Fuente: Autores

4.5.2 Instalación de sensores. Se instaló el cableado para sensores, desde el módulo de control hacia cada uno de los elementos.

Figura 95. Conexiones de la placa



Fuente: Autores

El sensor de temperatura se instaló en el depósito, va sumergido en el fluido de pruebas por esta razón tiene un recubrimiento epóxico, las conexiones van a través de un tubo ferroso que cumple la función de aislante de ruido magnético.

Figura 96. Instalación del sensor de temperatura



Fuente: Autores

Se instaló el sensor óptico ubicado en la polea del motor eléctrico, la conexión hacia la placa es a través de un cable blindado coaxial de 3 líneas.

Figura 97. Instalación del sensor óptico



Fuente: Autores

4.5.3 *Instalación de los elementos del panel de control.* Se instaló los componentes del panel necesarios para el manejo del banco de pruebas.

Elementos de protección del motor trifásico y switch de alimentación del calentador instalados en un riel fijado a la estructura.

Figura 98. Switch térmicos



Fuente: Autores

Se instaló la carcasa para el LCD, se colocaron los pulsadores de inicio y reset, la botonera on/ off, un potenciómetro, el keypad, un interruptor y conmutador que controla el giro del motor y selección del sistema respectivamente.

Figura 99. Instrumentos del panel de control



Fuente: Autores

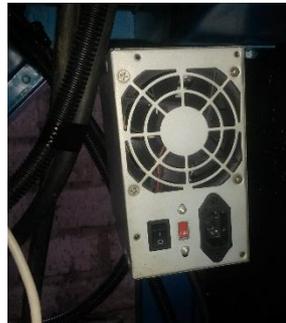
4.5.4 *Instalación de las fuentes de alimentación.* Se instaló las entradas de 110 V, 360 V y la fuente de 12 V que van fijadas a la estructura.

Figura 100. Enchufes de alimentación



Fuente: Autores

Figura 101. Fuente de alimentación de 12V



Fuente: Autores

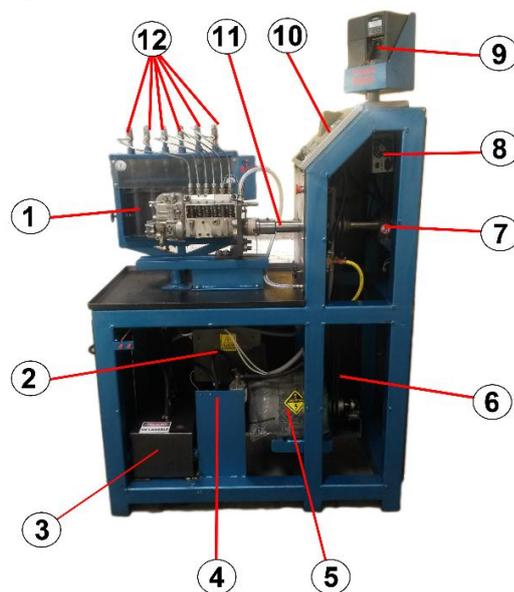
CAPÍTULO V

5. MANUAL Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1. Manual del banco universal para bomba diésel

5.1.1. Componentes del banco.

Figura 102. Partes principales del banco



Fuente: Autores

1. Probetas.
2. Case de la placa de control.
3. Depósito del fluido.
4. Elementos filtrantes.
5. Motor eléctrico.
6. Bandas.
7. Chumacera
8. Fuente de alimentación.
9. Variador de frecuencia.
10. Panel de control.
11. Eje de salida.
12. Inyectores.

5.1.2. Importancia del manual. Este manual es una guía para su instalación, uso y mantenimiento de banco para calibrar bombas diésel lineales.

Se aconseja seguir las instrucciones que contiene este manual, pues de ello depende el buen funcionamiento y duración de los componentes tanto electrónicos como eléctricos

Lea el manual antes de empezar a utilizar el banco de calibración.

Simbología utilizada

Advertencias



Nota:

Situación de peligro o potencialmente peligrosa, desactivación de sistema eléctrico.



Nota:

Peligro de alto voltaje eléctrico.



Nota:

Peligro de manipulación.

5.1.3. Transporte, operación y almacenamiento

5.1.3.1 Transporte. El transporte de la máquina debe ser llevado a cabo con el debido cuidado para no golpear ésta, se recomienda realizar el transporte con la ayuda de un tecele pluma para levantarlo.

El fluido para calibración debe ser extraído en su totalidad del depósito antes de transportar la máquina.

5.1.3.2 Conexiones de eléctricas. El banco de pruebas consta de 3 tipos de alimentación, la primera para la parte eléctrica, su entrada de voltaje tiene que ser trifásica 360 VAC, mostrado en la figura.

Figura 103. Conexión de 360 VAC



Fuente: Autores

La segunda es para el sistema de calentamiento, suministro del fluido, e iluminación de las probetas, su entrada de voltaje es de 120 VAC, mostrado en la figura.

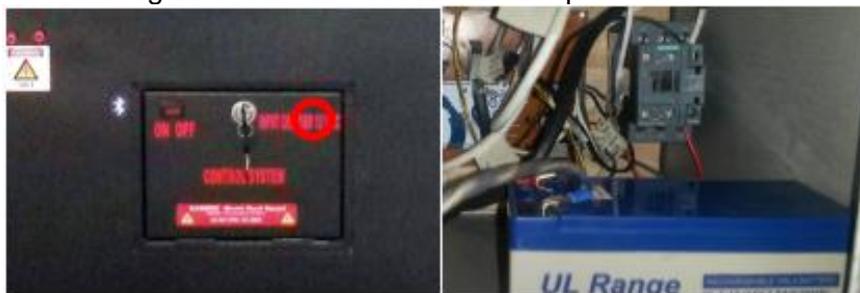
Figura 104. Conexión de 120 VAC



Fuente: Autores

La tercera línea de alimentación es de 12 VDC, proporcionada por un cargador alimentado de 120 VAC, suministrando energía a la batería del sistema de control electrónico, mostrado en la figura.

Figura 105. Conexión de 12 VDC para la batería



Fuente: Autores

5.1.3.3 Condiciones ambientales. El banco de pruebas debe estar ubicado en un lugar cuya temperatura se encuentre dentro de los límites $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.1.3.4 Espacio necesario para uso y mantenimiento. El lugar donde tiene que ser instalado el banco, debe ser sin presencia polvo y evitando el contacto con agua.

El calentador del fluido presenta evaporaciones de aceite, y se necesita un lugar con constante ventilación. La área mínima recomendada es de 2.0 m x 2.0 m.

5.2. Mandos y componentes del panel de control

El panel consta de mandos que permiten variar el funcionamiento acorde con los parámetros de calibración como indica la figura.

Figura 106. Panel de control



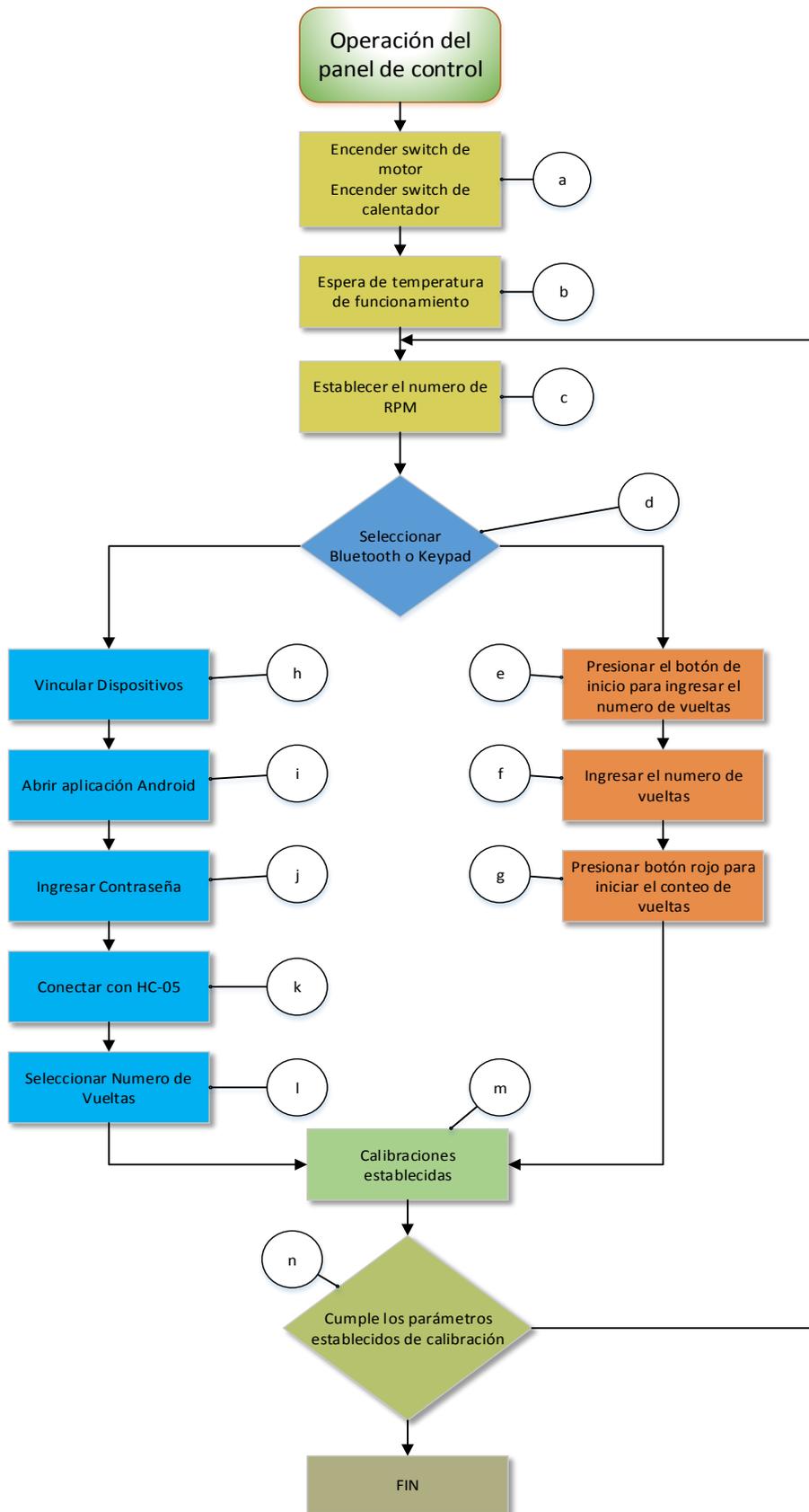
1. Keypad
2. Botón de inicio
3. Botonera de encendido/apagado del motor eléctrico
4. Switch termomagnético (motor eléctrico)
5. Switch de protección calentador/bomba eléctrica
6. LCD
7. Conmutador (panel/Bluetooth)
8. Manómetro de presión del fluido
9. Interruptor de sentido de giro
10. Botón de reset de unidad de control electrónico
11. Potenciómetro variador de velocidad del motor eléctrico
12. Botón de parada de emergencia

Fuente: Autores

5.2 Operación

5.2.1 Diagrama de flujo de operación. *El diagrama de la figura 107 muestra el orden de acciones y controles que se tiene que activar para el correcto funcionamiento del banco.*

Figura 107. Diagrama de funcionamiento



Fuente: Autores

- a. Encender los interruptores de protección del motor y del calentador.

Figura 108. Interruptores de protección.



Fuente: Autores

- b. Esperar que el sistema se encuentre activo, cuando la temperatura del fluido se encuentre en los rangos de operación.

Figura 109. Pantalla LCD



Fuente: Autores

- c. Regular el número de RPM del motor eléctrico (los valores están en función a los parámetros de calibración).

Figura 110. Regulador de rpm



Fuente: Autores

- d. Seleccionar el tipo de entrada, Bluetooth o Keypad.

Figura 111. Selección de entrada



Fuente: Autores

Funcionamiento con el keypad

- e. Presionar el botón de inicio para que habilite el keypad.

Figura 112. Botón de inicio



Fuente: Autores

- f. Ingresar el número de vueltas en el teclado numérico, definido por los parámetros de calibración.

Figura 113. Ingreso de número de vueltas



Fuente: Autores

- g. Presionar D para iniciar

Figura 114. Funcionamiento del contador



Fuente: Autores

Funcionamiento con Bluetooth

- h. Vincular el dispositivo Android con la máquina en las configuraciones de Bluetooth.

Figura 115. Vinculación con HC-05



Fuente: Autores

- i. Abrir la aplicación en el dispositivo.
- j. Ingresar la contraseña "1804001", pulse ingresar.

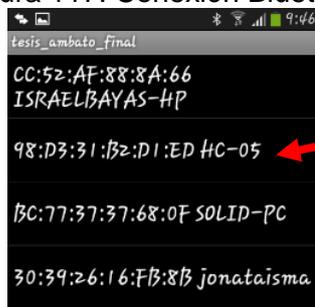
Figura 116. Pantalla de inicio



Fuente: Autores

- k. Pulsar conectar y seleccione HC-05.

Figura 117. Conexión Bluetooth



Fuente: Autores

- l. Seleccionar el número de vueltas a contar (se iniciará el conteo después de la selección).

Figura 118. Pantalla de ingreso de vueltas



Fuente: Autores

- m. Realizar las calibraciones dadas en la “Guía de calibración de la bomba”.
- n. Realizar las calibraciones hasta cumplir todos los parámetros de calibración.

5.3 Mantenimiento del banco de pruebas

El mantenimiento que se requiere para el banco no es tan riguroso. Sin embargo se prevé de un mantenimiento de tipo preventivo, en los sistemas mecánicos e hidráulicos, para garantizar las correctas calibraciones de la bomba inyectora.

- Después de cada práctica de laboratorio del banco se debe limpiar todas las partículas de polvo y aceite depositadas en la bandeja, realizar la carga de la batería interna del sistema electrónico.
- Comprobar habitualmente el ajuste de cañerías, pernos de las bases para evitar vibraciones y fugas.
- Revisar semestralmente todos los sistemas del banco, comprobar la calibración de los inyectores y funcionamiento de la bomba inyectora.

5.3.1 *Tabla de mantenimiento.* En la siguiente tabla se resume las intervenciones de mantenimiento periódico y preventivo indispensables para el funcionamiento del banco universal en condiciones recomendables.

Se describe sintéticamente después de cuantas horas de trabajo tiene que efectuarse el tipo de intervención aconsejada.

Antes de efectuar las tareas de mantenimiento tener las siguientes precauciones:

- El banco esté desconectado de las fuentes de alimentación.
- El circuito hidráulico debe estar totalmente descargados totalmente sin presión.
- Tener precaución de los sensores electrónicos al momento de realizar las tareas de mantenimiento.

Gracias a un trabajo de investigación detenida ha sido posible facilitar el mantenimiento del banco.

Tabla 12. Tabla de mantenimiento del banco

PERIODO HORAS	OPERACIÓN A REALIZAR
10 horas	Carga de batería interna
	Limpieza de partículas de polvo y aceites
250 horas	Cambio de aceite de pruebas
	Cambio de filtro de aceite
	Limpieza de separador de agua
	Tensado de la banda
	Control de las abrazaderas metálicas
500 horas	Cambio de aceite de pruebas
	Cambio de filtro de aceite
	Limpieza de separador de agua
	Engrase de chumaceras
	Cambio de batería interna
	Comprobación de la bomba eléctrica
1000 horas	Cambio de aceite de pruebas
	Cambio de filtro de aceite
	Limpieza de separador de agua
	Tensado de la banda
	Control de abrazaderas metálicas
	Cambio de filtro de la bomba eléctrica
2000 horas	Cambio de aceite de pruebas
	Cambio de filtro de aceite
	Limpieza de separador de agua
	Cambio de bandas
	Control de abrazaderas metálicas

Fuente: Autores

- Actividades de cada 250 horas realizar las comprobaciones de mantenimiento preventivo correspondientes a 10 horas
- Actividades de cada 500 horas realizar las comprobaciones de mantenimiento preventivo correspondientes a 10 horas y 250 horas

- Actividades de cada 1000 horas realizar las comprobaciones de mantenimiento preventivo correspondientes a 10 horas, 250 horas, 500 horas, 1000 horas.
- Actividades de cada 2000horas realizar las comprobaciones de mantenimiento preventivo correspondientes a 10 horas, 250 horas, 500 horas, 1000 horas, 2000horas.

5.4 Guías de práctica de laboratorio

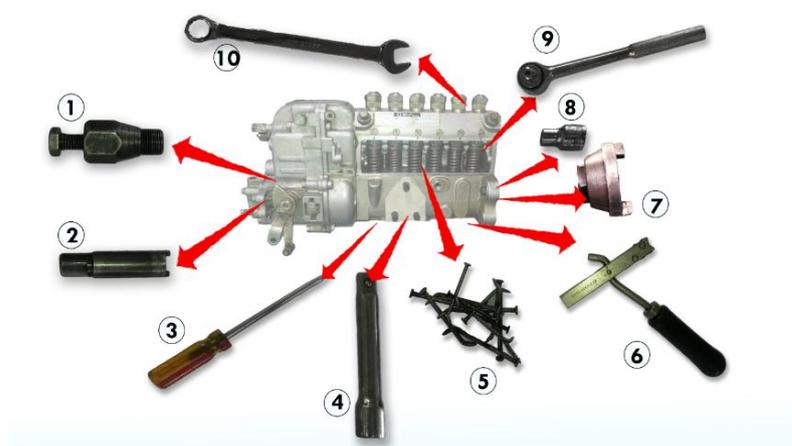
5.4.1 Guía de desarmado y armado de la bomba inyectora

5.4.1.1 Preparación y recomendaciones generales.

- Antes de realizar el desmontaje y el ajuste, realice una prueba de la bomba de inyección de combustible y anote el resultado de la prueba excepto cuando la prueba no es imposible.
- Antes de comenzar a desmontar la bomba de inyección de combustible, limpiar todo el polvo y la suciedad de su exterior.
- Limpiar la mesa de trabajo completamente, quitando todo material que pueda dificultar el trabajo.
- Provisionarse de sólo aquellas herramientas de servicio necesarias para desmontar y volver a montar.
- Tenga cuidado de no doblar o rayar las piezas.
- Tenga cuidado de no mezclar piezas de diferentes cilindros.

5.4.1.2 Listado de Herramientas.

Figura 119.Herramientas para el armado y desarmado



Fuente: Autores

1. Extractor de doble perno.
2. Dado especial.
3. Destornillador.
4. Extensión de ½ “.
5. Juego de seguros
6. Compresor.
7. Acople bomba-motor.
8. Dados.
9. Rache.
10. Llaves.

5.4.1.3 Proceso de desarmado

1. Drene el aceite de la bomba de inyección.
2. Sujete la bomba en el tornillo de banco.

Figura 120. Bomba en el tornillo de banco



Fuente: Autores

3. Remueva los pernos del regulador de revoluciones con la herramienta correspondiente.

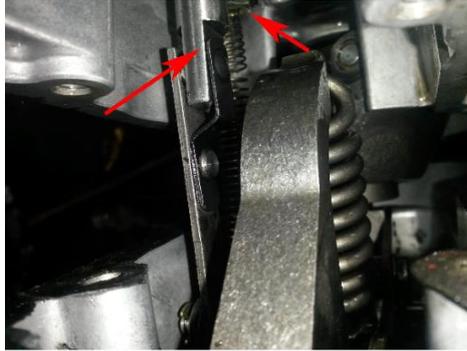
Figura 121. Desarmado del regulador



Fuente: Autores

4. Separe el conjunto del regulador y desconecte el seguro de la cremallera y el muelle de recuperación.

Figura 122. Vista interna del regulador



Fuente: Autores

5. Separe la conexión entre el regulador y los contrapesos de la bomba.

Figura 123. Desarmado del regulador



Fuente: Autores

6. Enganchar el acople bomba-motor (7), y bloquee el árbol de levas.

Figura 124. Acople bomba-motor



Fuente: Autores

Remueva la tuerca redonda con la herramienta especial (2).

Figura 125. Desmontaje de la tuerca redonda



Fuente: Autores

7. Remueva el contrapeso con el extractor de doble perno especial (1).

Figura 126. Extracción del contrapeso



Fuente: Autores

8. Temporalmente instale el acople motor-bomba (7),

Figura 127. Instalación del acople



Fuente: Autores

Gire el acople hasta que empujador se eleve al PMS, para cada cilindro y luego con el juego de seguros (5) bloquear el muelle del empujador.

Figura 128. Instalación de los seguros



Fuente: Autores

9. Remueva las tapas inferiores con la extensión de media (4).

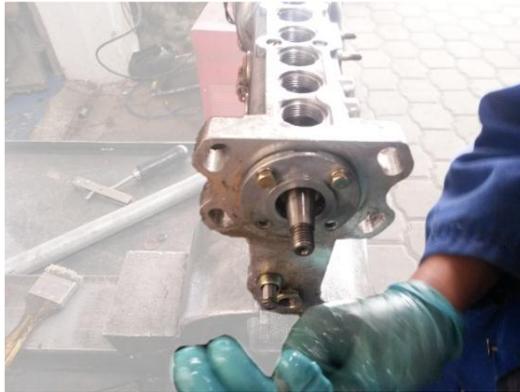
Figura 129. Desmontaje de las tapas inferiores



Fuente: Autores

10. Remueva los pernos de la pista del rodamiento del árbol de levas.

Figura 130. Desmontaje de la pista del rodamiento



Fuente: Autores

11. Remueva los dos tornillos del cojinete central del árbol de levas.

Figura 131. Desmontaje de los pernos del cojinete central



Fuente: Autores

12. Extraer el árbol de levas.

Figura 132. Extracción del árbol de levas



Fuente: Autores

13. Retire los seguros con la ayuda del compresor (6), tenga cuidado de no dañar las roscas del agujero de las tapas inferiores.

Figura 133. Empujadores comprimidos



Fuente: Autores

14. Retirar los empujadores de cada uno de los cilindros.

Figura 134. Empujadores



Fuente: Autores

15. Extraer cada uno de los conjuntos de embolo, muelle, platillo y manguito de control, tener precaución de no mezclar elementos de diferentes cilindros.

Figura 135. Extracción del conjunto



Fuente: Autores

16. Remueva el tornillo de control guía de la cremallera y luego extraiga la cremallera.

Figura 136.Cremallera



Fuente: Autores

17. Remueva el racor de impulsión con su respectiva válvula de presión de cada cilindro.

Figura 137. Racor de impulsión



Fuente: Autores

18. Retire el cuerpo de émbolo empujándolo desde abajo.

Figura 138.Desmontaje del cuerpo de embolo



Fuente: Autores

5.4.1.4 Inspección de los elementos

- **Carcasa de la bomba**

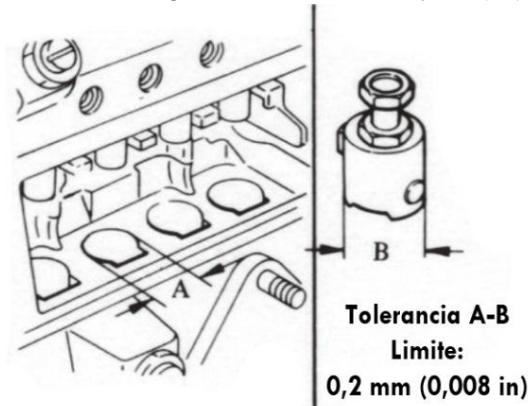
1. Inspeccionar los daños, grietas, etc.

Si está dañada en exceso, sustituirla por una nueva carcasa.

2. Cheque la superficie del impulsor de rodillo para el adecuado contacto con el agujero, también compruebe si hay daño o grieta.

3. Mida la holgura entre el impulsor y el agujero de la carcasa.
Si están desgastadas más allá del límite de desgaste, reemplace empujador o la carcasa.

Figura 139. Holgura entre carcasa y empujador

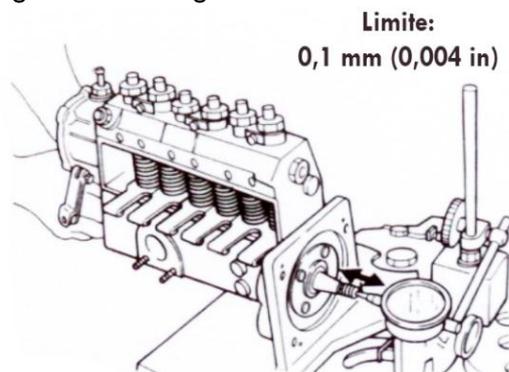


Fuente: Diesel Kiki-Bosh in-line type

- **Árbol de levas**

1. Medir el perfil de leva para ver el desgaste desigual o excesivo. Si tiene excesivo desgaste o de manera desigual, sustituya el árbol de levas por uno nuevo
2. Comprobar los daños, grietas, etc.
Si está dañado en exceso, reemplazarlo con uno nuevo.
3. Medir el juego axial del árbol de levas empujando desde el extremo del árbol del lado del regulador y mover el árbol de levas en la dirección del eje.

Figura 140. Juego axial del árbol de levas



Fuente: Diesel Kiki-Bosh in-line type

- **Rodamientos**

Comprobar si hay desgaste o decoloración. Si está defectuoso, reemplace por uno nuevo

- **El émbolo y cilindro**

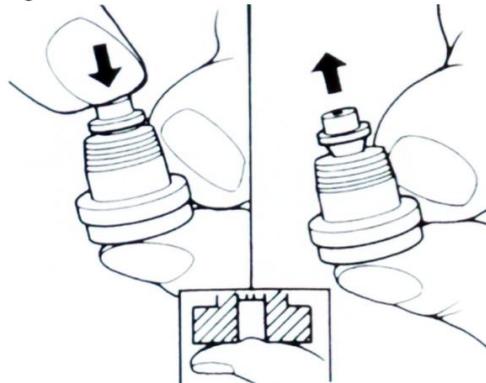
La operación del émbolo debe comprobarse en base al resultado de medición de volumen de inyección de combustible.

- **Válvula de suministro**

Cheque hermeticidad

1. Limpiar completamente la válvula de suministro y el porta válvula.
2. Coloque el dedo sobre la parte inferior del asiento de la válvula, deprimir ligeramente la válvula con la punta del dedo, y asegúrese de que la válvula salta hacia atrás cuando se suelte.
3. Si la válvula cae al porta válvula, no está funcionando correctamente debido a un desgaste excesivo del pistón. Si está defectuoso, reemplace con un nuevo conjunto de la válvula y porta válvula.

Figura 141. Hermeticidad de la válvula



Fuente: Diesel Kiki-Bosh in-line type

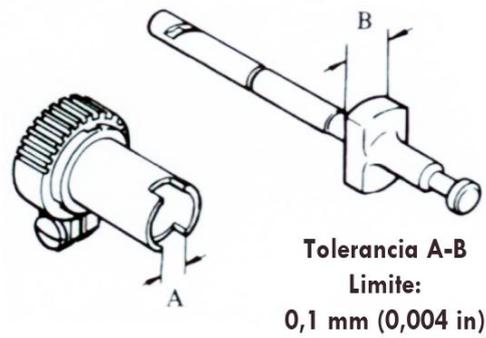
- **Alzaválvulas**

Inspeccionar desgaste o daño del empujador, rodillo, buje del rodillo y pasador, si es necesario reemplazar los componentes defectuosos por nuevos, según sea necesario.

- **Conjunto de rueda dentada y émbolo**

1. inspeccionar la corona dentada en busca de dobleces y daños.
Si esta averiada, reparar o reemplazar con una nueva corona, según se requiera.
2. Mida la holgura entre la corona y la manga del émbolo. Si tienen excesivo desgaste, reemplazar la corona o el émbolo, según sea necesario.

Figura 142. Holgura entre rueda dentada y embolo



Fuente: Diesel Kiki-Bosh in-line type

- **Muelles**

Inspeccione el muelle del embolo y de la válvula en busca de daños y perpendicularidad.

5.4.1.5 Proceso de armado

- Limpiar las piezas a fondo y aplicar una capa fina de aceite de motor a las partes giratorias y corredizas.
 - Montar la bomba de inyección en el orden inverso al de desmontaje.
 - Tenga en cuenta los siguientes elementos.
1. Posicionar el cuerpo del émbolo en su posición, con el agujero alineado con la clavija de la carcasa.

Figura 143. Alineación del embolo



2. Instale la válvula de suministro con una nueva junta, y el racor de impulsión con su respectivo torque (29 -34 Nm).

Figura 144. Válvula de suministro y junta nueva



Fuente: Autores

3. Fijar la cremallera, y ajustar del tornillo guía.

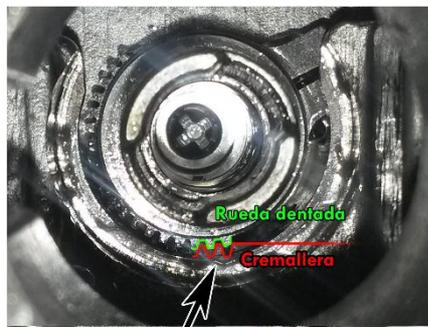
Figura 145. Instalación de la cremallera



Fuente: Autores

4. Instale la rueda dentada, alinear con el inicio de la cremallera y comprobar que se encuentre centrada.

Figura 146. Marca de Alineación de la cremallera



Fuente: Autores

5. Alinea las demás ruedas dentadas con la marca de la carcasa.

Figura 147. Alineación de las ruedas dentadas



Fuente: Autores

6. Instale el conjunto de embolo junto con el muelle, con la marca de alineamiento hacia adelante, no utilice el émbolo con un cilindro diferente.

Figura 148. Instalación del conjunto



Fuente: Autores

7. Instale los empujadores, comprima los muelles y bloquee con el juego de seguros.

Figura 149. Instalación de los seguros



Fuente: Autores

8. Instale el árbol de levas, aplique grasa en el cojinete central e instale juntamente con el árbol.

Figura 150. Instalación del árbol de levas



Fuente: Autores

9. Ajuste el porta rodamiento del árbol de levas.

Figura 151. Ajuste del porta rodamiento.



Fuente: Autores

10. Instale las tapas inferior, con el respectivo torque (54-74 Nm).

Figura 152. Torqueado de tapas inferiores



Fuente: Autores

11. Temporalmente instale el acople bomba-motor, gire y retire el juego de los seguros.

Figura 153. Extracción de los seguros



Fuente: Autores

12. Instalar los contrapesos, asegure con la tuerca redonda y ajustar con el dado especial (2).

Figura 154. Instalación de contrapesos



Fuente: Autores

13. Instalar el conjunto del regulador, y conectar el seguro de la cremallera y el muelle de recuperación.

Figura 155. Instalación del regulador



Fuente: Autores

5.4.2 Guía de calibración de la bomba

Normas generales

Deben observarse las siguientes precauciones:

- El banco de pruebas debe configurarse para trabajar en el sentido de rotación correcto de la bomba que se va a probar indica en la tabla.
- No debe hacerse funcionar la bomba a altas revoluciones durante largos periodos de tiempo con poca alimentación de combustible.
- No debe hacerse funcionar la bomba durante mucho tiempo con el control de cierre en la posición de cerrado.
- Cebear la bomba completamente antes de calibrarla y también siempre que lo indique las tablas de ensayo.
- Las conexiones de alta presión estándar deben instalarse previo a la calibración. La información se facilita en los datos de prueba.

5.4.2.1 Características de la bomba.

Tabla 13. Equipo de inyección

Numero de Conjunto	NP-PES6A956412R2000NP402
Tipo	Lineal
Sentido de Giro	Derecha
Fijación	Brida frontal
Orden de inyección	1-5-3-6-4-2
Tipo de motor	6BB1
Fabricante	ISUZU
Potencia máxima	107 kW/3200 rpm
Torque máxima	343 Nm/2000 rpm

Fuente: Tablas de calibración Diesel Kiki

5.4.2.2 Condiciones de prueba de la bomba de inyección.

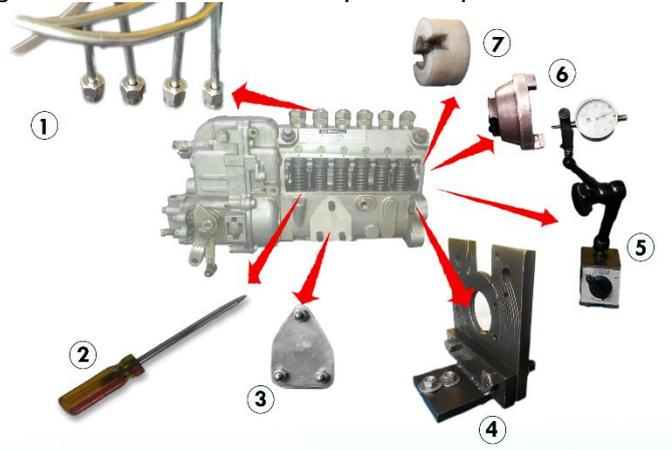
Tabla 14. Condiciones de Ajuste

Denominación	Unidad	Valor de Ajuste	Min.	Max.
Tobera y soporte		KV11257800/2		
Presión de apertura del inyector	kPa (bar, Kg/cm ² psi)	17 162 (171.6,175,2 489)		
Tubo alta presión Ø Ext. - Ø Int. - longitud	mm	6 - 2 - 600		
Presión de alimentación	kPa (bar, Kg/cm ² psi)	157 (1.57, 1.6, 23)		
Aceite de prueba		ISO 4113 o SAEJ967d		
Temperatura del aceite	°C	40	40	45
Dirección de rotación		Derecha		
Orden de inyección		1-5-3-6-2-4		

Fuente: Datos de calibración Diésel kiki

5.4.2.3 Herramientas para la calibración.

Figura 156. Herramientas especiales para la calibración



Fuente: Autores

1. Juego de cañerías de alta presión.
2. Destornillador.
3. Tapa de la lubricación.
4. Base para la bomba.
5. Conjunto del reloj palpador
6. Acople bomba-motor.
7. Junta flexible.

5.4.2.4 Tablas de calibración.

Tabla 15. Ajuste de la cantidad de inyección

Denominación	Unidad	Valor de Ajuste	Min.	Max.
Punto de Ajuste		A		
Posición de la cremallera	mm	8.3		
Velocidad de la bomba	rpm	1650		
Frecuencia del variador	Hz	55		
Numero de vueltas		1000		
Cantidad de Inyección	mm ³	43	40,6	45,4
Desequilibrio permisible	%		-4	4
Punto de Ajuste		B		
Posición de la cremallera	mm	8.3		
Velocidad de la bomba	rpm	1000		
Frecuencia del variador	Hz	33,5		
Numero de vueltas		1000		
Cantidad de Inyección	mm ³	42,5	40,1	44,9
Desequilibrio permisible	%		-2,5	2,5
Punto de Ajuste		C		
Posición de la cremallera	mm	6,9	6,4	7,4
Velocidad de la bomba	rpm	325		
Frecuencia del variador	Hz	11		
Numero de vueltas		1000		
Cantidad de Inyección	mm ³	9,4	8,1	10,7
Desequilibrio permisible	%		-14	14

Fuente: Datos de calibración Diésel kiki

5.4.2.5 Instalación de la bomba en el banco.

1. Colocar la tapa de la bomba de baja que va al árbol de levas para evitar que pierda aceite de lubricación.

Figura 157. Instalación de la tapa



Fuente: Autores

2. Instalar la bomba de inyección en las bases del banco universal

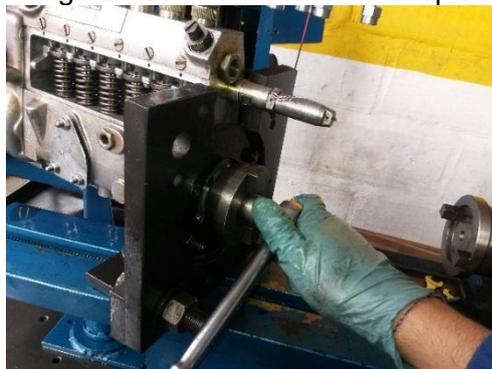
Figura 158: Instalación de la bomba en el banco



Fuente: Autores

3. Conectar el acople que va en el árbol de levas de la bomba de inyección.

Figura 159. Instalación del acople



Fuente: Autores

4. Conectar el acople flexible entre la bomba y el eje de transmisión del banco universal.

Figura 160. Instalación de la junta flexible



Fuente: Autores

5. Conectar la manguera flexible de alimentación de combustible del banco a la bomba inyectora.

Figura 161. Instalación de la cañería de alimentación



Fuente: Autores

6. Instalar las cañerías de alta presión desde los inyectores a los racors de impulsión.

Figura 162. Instalación de las cañerías de alta presión



Fuente: Autores

7. Purgar el aire de la bomba de inyección.

5.4.2.6 Ajuste del volumen de inyección.

1. Posicione el conjunto de reloj palpador y base imantada para control de la cremallera.

Figura 163. Conjunto de bomba y reloj palpador



Fuente: Autores

2. Desarmar el regulador junto con resorte del regulador de lo contrario la posición "0" no se puede obtener.

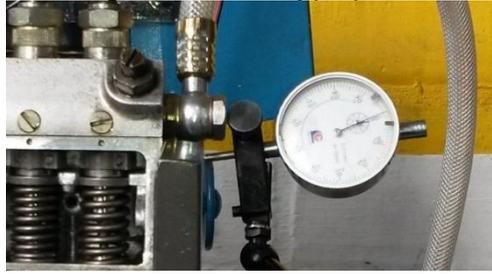
Figura 164. Desarmado del regulador



Fuente: Autores

3. Al configurar la herramienta, empuje la cremallera totalmente hacia el lado gobernador y alinear el "0" en la escala de medición del dispositivo.
4. Posicionar la cremallera hacia el lado del control de aumento de combustible, y compruebe la distancia recorrida detallada en la tabla 15.

Figura 165. Reloj palpador



Fuente: Autores

5. Verificar la presión de alimentación en el manómetro valores en la tabla 13.
 6. Medir el volumen de inyección para cada cilindro en los diferentes regímenes de la bomba y posición de la cremallera especificadas en la tabla 14.
- Calcular el desequilibrio admisible de volumen de inyección de combustible.

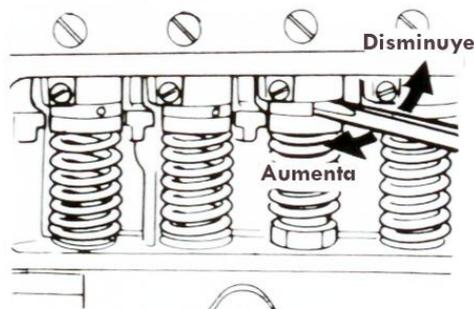
Figura 166. Caudal de inyección desequilibrado



Fuente: Autores

7. Calibrar el control de inyección de manera que se obtenga el volumen especificado y el desequilibrio permisible.
 - Aflojar el control de tornillo de la abrazadera del piñón
 - Colocar la herramienta adecuada en el agujero de la abrazadera de control y calibrar girando el manguito de control.

Figura 167. Proceso de calibrado



Fuente: Diesel Kiki-Bosh in-line type

8. Después del ajuste de caudal asegure el tornillo de fijación del piñón.

Figura 168. Regulación terminada



Fuente: Autores

9. Quitar el conjunto del reloj palpador y su base
10. Instalar el regulador tener precaución de conectar el seguro de la cremallera y el muelle.

5.4.2.7 Ajuste del control de carga. Al realizar los ajustes es imprescindible la utilización de goniómetro y proporcionar los valores de los ángulos dependiendo de los procedimientos, estos se realizan con valores muy cercanos a la regulación limitadora.

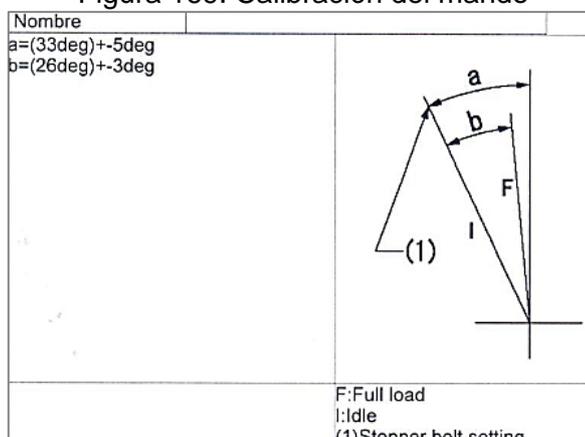
- **Ajustar el inicio de inyección**

Se debe empezar este con la posición de inicio de inyección, ya que corresponde al valor más cercano de apagado, siendo el siguiente paso el ajuste del tope de caudal, se ajusta la precarga del muelle de regulación, sabiendo que este valor debe ser ajustado a la precarga con el corte de revoluciones

- **Ajuste del muelle adicional de ralentí**

Se debe realizar el ajuste del muelle adicional del ralentí, este se lo realiza determinando el valor de la cremallera, a este le restándole 0.5 mm, el valor será el lugar en donde se posiciona con el tope de ralentí.

Figura 169. Calibración del mando



Fuente: Manual Diesel Kiki-Bosh in-line type

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS

El rediseño del banco de pruebas fue realizado con el fin de otorgar una herramienta de gran utilidad para el laboratorio de motores de la escuela de Ingeniería Automotriz, por ello es menester realizar un análisis de costo, determinaremos los costos de elaboración teniendo en cuenta: los costos directos e indirectos.

6.1. Costo de proyecto

6.1.1. *Costos directos mecánicos.* En la siguiente tabla se detallan los materiales y dispositivos utilizados en la parte mecánica del banco.

Tabla 16. Costos directos mecánicos

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Costo total (USD)
Rines para inyector	12	0,45	5,4
Perno M10 (probetas)	8	0,1	0,8
Perno M10 (tapas)	102	0,12	12,24
Pernos M17 (motor)	4	0,2	0,8
Pernos M14 (bomba)	4	0,18	0,72
Pernos M 14 (tipo ojo)	1	1,9	1,9
Pernos M8 (probetas)	6	0,17	1,02
Tuercas M19	4	0,22	0,88
Arandelas M10 (probetas)	8	0,1	0,8
Arandelas M17 (motor)	4	0,17	0,68
Construcción Tapa	1	50	50
Construcción acople bomba	1	120	120
Construcción acople flexible	1	80	80
Reconstrucción probetas	1	30	30
Mano de obra soldaduras	2	30	60
Pintura estructura	5	43,5	217,5
Lija 220	4	0,75	3
Lija 180	4	0,75	3
Tiñer	4	1,8	7,2
Correas plásticas	22	0,25	5,5
Base sensor óptico	1	6,48	6,48
Total			607,92

Fuente: Autores

6.1.2. Costos directos hidráulicos. En la siguiente tabla se detallan los materiales utilizados en la parte hidráulica del banco.

Tabla 17. Costos directos hidráulicos

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Costo total (USD)
Manguera fibra de nylon	1	3,9	3,9
Manguera baja presión NBR	5	3,5	17,5
Cañería alta presión	6	19	114
Ojo 12 mm	1	5,4	5,4
Férula o remache	1	2,6	2,6
Acople macho 1/4	4	2,9	11,6
Acople hembra 1/4	3	3,2	9,6
Acople macho 1/4 niquelado	1	4,9	4,9
Neplo 1/4 x 3	2	0,46	0,92
Bomba KIKI PES6A	1	500	500
Filtro de Aceite	1	8	8
Trampa de agua	1	26	26
tubo blindado	1	3	3
Total			707,42

Fuente: Autores

6.1.3. Costos directos electrónicos y eléctricos. En la siguiente tabla se detallan los materiales y dispositivos utilizados en la parte electrónica y eléctrica del banco.

Tabla 18. Costos directos electrónicos y eléctricos

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Costo total (USD)
Terminal Bomba eléctrica	1	4,9	4,9
Bomba de eléctrica	1	80	80
Cobertor	1	80	80
Arduino Mega 2560 R3	1	75	75
Bluetooth HC-05	1	35	35
Construcción de la placa	1	40	40
Dispositivos de la placa Arduino		50	50
Sensor óptico	1	5	5
Sensor temperatura	1	3,26	3,26
Calentador	2	60	120
Contactador siemens	1	95	95
Pulsadores panel	2	6	12
Plugs y borneras	20	0,35	7
Interruptores conmutador	3	1,56	4,68
Caja botonera	1	5,9	5,9
Luz LED	6	2	12

Potenciómetro	1	0,5	0,5
LCD	1	17	17
Interruptor Termomagnético	1	22	22
Interruptor para sobre carga	1	30	30
cables blindados	5	1,3	6,5
tomacorriente 120 V	1	5	5
Tomacorriente 360 V	1	12	12
Enchufe 120 V	1	5	5
Enchufe 360 V	2	5,6	11,2
Total			738,94

Fuente: Autores

6.1.4. Costos indirectos. En la siguiente tabla se detallan los costos indirectos.

Tabla 19. Costos indirectos

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Costo total (USD)
Accesorios Técnica Electrónica		200	200
Accesorios Técnica Diésel		200	200
Documentación e Investigación		200	200
Transporte		100	100
Total			700

Fuente: Autores

6.1.5. Costo total. El costo total es igual a la suma de los costos directos más el costo indirecto.

Costo total es igual a la suma del costo directo mecánico, costo directo hidráulico, costo directo eléctrico y electrónico más el costo indirecto.

Costos mecánicos + Costos hidráulicos + Costos eléctrico/electrónicos + Costos indirectos = Costo total

$$607,92 \text{ USD} + 707,42 \text{ USD} + 738,94 \text{ USD} + 700 \text{ USD} = 2\,754,28 \text{ USD}$$

6.2. Análisis de costo por operación

De acuerdo al tiempo de uso se puede realizar un análisis aproximado de costo de operación, indicando que solo se podrá obtener un análisis exacto tomando en cuenta

el plan analítico y horas prácticas que realizaran los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

Se ha considerado un periodo de trabajo de la máquina de 2 horas al día, tomando en cuenta que el banco trabaja de forma didáctica 2 días a la semana, los datos de consumos eléctricos son tomados de sus respectivos catálogos y se obtiene:

Tabla 20. Costos por operación

Detalle	Watts	Horas de trabajo	η rendimiento	Kw/h al mes
Motor trifásico	5592	8	0,801	55,85
Bomba eléctrica	96	10	0,8	1,2
Calentador eléctrico	2200	10	0,65	33,85
Total				90,90

Fuente: Autores

En el Ecuador el costo promedio del KW/h es de 0.093 USD, por lo tanto el costo del valor a pagar mensual seria 8.45 USD.

6.3. Valor de salvamento del banco

El valor de salvamento esta dado en función del costo de inversión del banco, está definido que para países en vía de desarrollo el valor es el diez por ciento de la inversión.

$$\text{Inversión} = P = 2754.28 \quad (3)$$

$$\text{Salvamento} = S = 10\%(P) \quad (4)$$

$$S = 0.1(2754.28)$$

$$S = 275.428$$

6.4. Depreciación del banco

La depreciación es la devaluación económica que pierde el banco por el uso, a medida que avanza el tiempo de servicio, y decrece su valor, la vida útil de maquinaria está definida entre un tiempo aproximado de 10 años.

(5)

$$Da = \frac{P - S}{n}$$

Donde:

Da= depreciación anual

P= inversión

S= valor de salvamento

n= tiempo de vida útil (años)

$$Da = \frac{2754.28 - 275.428}{10}$$

$$Da = 247.85$$

La depreciación anual de la máquina se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 21. Depreciación de la máquina

Año	Depreciación anual USD	Depreciación acumulada USD	Valor USD
0	0	0	2754,28
1	247,85	247,85	2506,43
2	247,85	495,7	2258,58
3	247,85	743,55	2010,73
4	247,85	991,4	1762,88
5	247,85	1239,25	1515,03
6	247,85	1487,1	1267,18
7	247,85	1734,95	1019,33
8	247,85	1982,8	771,48
9	247,85	2230,65	523,63
10	247,85	2478,5	275,78

Fuente: Autores

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Al finalizar este proyecto de fin de carrera, se establece las siguientes conclusiones.

Se realizó una investigación bibliográfica partiendo desde los antecedentes de los sistemas de combustión diésel, mostrando una orientación de sus elementos, sistemas y funcionamiento, hasta dar a conocer la evolución y el estado actual de arte en quipos de diagnóstico y calibración de bombas.

Se rediseñó los componentes necesarios para el acoplamiento a la nueva bomba, estableciendo los mayores parámetros de seguridad, validados estos mediante el diseño computarizado para garantizar su fiabilidad y seguridad, otorgando una función adecuada bajo las mayores condiciones de trabajo.

Se rediseñó el sistema hidráulico para que cumpla las funciones necesarias, dadas por las normas establecidas de los fabricantes para la calibración de bombas, permitiendo cumplir los parámetros de ajuste y calibración validando un trabajo óptimo de la bomba. Se rediseñó un sistema de control que se encuentra a la par de los sistemas actuales, utilizando dispositivos de última generación empleados en el campo de control electrónico, posibilitando el acceso de nuevas tecnologías inalámbricas, dando una mayor accesibilidad al control.

Se realizó la adaptación de los distintos elementos que forman los sistemas de control, sistema mecánico, sistema hidráulico.

Se desarrolló las guías de manejo y prácticas, para garantizar el correcto funcionamiento del banco y la óptima operación permitiendo realizar las calibraciones de bombas fiablemente

Se estableció un análisis de costos, proporcionando una perspectiva de los valores que representa la fabricación de este tipo de banco de pruebas, e indicando el valor de desembolsado realizado en este proyecto para la culminación de la carrera.

7.2 Recomendaciones

Leer el manual del banco de pruebas para ubicarlo de acuerdo al lugar recomendado en ese documento.

La vida útil de los distintos sistemas que conforman el banco, está dada por el cumplimiento del proceso de mantenimiento dado en la guía, cumplir los parámetros establecidos para obtener una vida útil prolongada del banco.

Tomar en cuenta la simbología ilustrada en el banco para evitar posibles accidentes.

La manipulación y operación del banco debe ser llevada a cabo bajo las normas que se encuentran en las guías de prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

ARDUINO. 2014. <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>. [En línea] 2014.

BOSCH. 2014. <http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/cursos/bombas1/cursodebombasdeinyeccionenlineabosch1.html>. [En línea] 2014.

BRUZOS, Tomás. 2014. <http://www.sabelotodo.org/automovil/bombainyeccion.html>. [En línea] 4 de 11 de 2014.

DONALDSON. 2014. <http://www.donaldson.com/en/bulk/literature/078670.pdf>. [En línea] 2014.

ESQUIUS, Juan Villalta. 2002. Motor Diesel, Funcionamiento y estructura del motor. [aut. libro] Juan Villalta Esquius. *Motor Diesel, Funcionamiento y estructura del motor*. Perú : Ediciones Ceac, 2002, pág. 28.

IMPERIAL, Juan Miralles de. 2002. *Motor Diesel, Funcionamiento y estructura del motor*. Perú : Ediciones Ceac, 2002.

MOTT, Roberth. 2006. *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico : Pearson, 2006.

ORTIZ, Luis Cesar. 2014. <http://dieselmetal.com/cr1400.html>. [En línea] 2014.

REUTER, Dr. Ing. Uwe. 1999. *Técnica de Inyección Diesel como visión de conjunto*. Alemania : Robert Bosch GmbH, 1999.

RITTER, Ernst. 2001. *Reguladores para bombas de inyección diesel en línea*. Alemania : Robert Bosh GmbH, 2001.

VICENTE, Miguel de Castro. 2013. *El motor diesel en el automovil*. Perú : Ediciones Ceac, 2013.