



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE  
SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE  
SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA  
INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.”

AUTORES:

WILMER BOLÍVAR ALANUCA MORALES

CARLOS MAURICIO SANGUCHOLEINES

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Año 2013

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Wilmer Bolívar Alanuca Morales

Carlos Mauricio Sangucho Leines.

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.**”, fue desarrollado con la debida investigación científica, sabiendo respetar todos los derechos intelectuales de terceros, acorde con las citas que se hace al pie de página correspondiente, las fuentes se añaden a la bibliografía.

Por lo que se puede afirmar que este trabajo es de nuestra exclusiva autoría.

En honestidad de esta declaración, nos responsabilizamos de lo comprendido, la veracidad y el alcance científico que tiene este proyecto de grado realizado.

Latacunga, Mayo de 2013.

---

Carlos Mauricio Sangucho Leines  
C.I. 1719296186

---

Wilmer Bolívar Alanuca Morales  
C.I. 1717961484

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICADO

ING. NÉSTOR ROMERO (DIRECTOR)

ING. GUIDO TORRES (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.”** realizado por WILMER BOLÍVAR ALANUCA MORALES Y CARLOS MAURICIO SANGUCHO LEINES, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

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

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a WILMER BOLÍVAR ALANUCA MORALES Y CARLOS MAURICIO SANGUCHO LEINES que lo entreguen a Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Mayo de 2013.

---

Ing. Néstor Romero  
DIRECTOR

---

Ing. Guido Torres  
CODIRECTOR

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Wilmer Bolívar Alanuca Morales  
Carlos Mauricio Sangucho Leines.

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo de 2013.

---

Carlos Mauricio Sangucho Leines  
C.I. 1719296186

---

Wilmer Bolívar Alanuca Morales  
C.I. 1717961484

## DEDICATORIA

*A Dios por darme la oportunidad de vivir con una familia maravillosa que siempre me estuvo acompañando y brindándome su apoyo incondicional.*

*El presente trabajo se los dedico a mis padres Maruja Morales y Marco Chasipanata, quienes día a día fueron mi ejemplo a seguir y el pilar fundamental por el cual llegue a formarme como profesional.*

*A mi hermana Marcia Chasipanta quien fue una madre más para mí, y con la cual compartimos la fraternidad brindándome su apoyo y cuidado desde mi niñez hasta el presente, gracias mi hermanita siempre valorare tu esfuerzo y velare por ti y nuestros padres toda la vida.*

*A mi hermano Franklin Alanuca quien me brindo un ejemplo como hermano y el cual siempre estará junto a mí en todo momento gracias por tus palabras de apoyo.*

*A mi tío Hugo quien siempre medio una mano en todo momento, y brindo su apoyo en momentos cuando más lo necesitaba y por lo cual estoy en deuda con usted.*

*A mi tía Lucila quien me brindó su apoyo siempre y me compartió palabras de bien para ser un buen hijo y valorar siempre el esfuerzo de mis padres.*

*No me podía faltar mi tía Nelly quien forma un ejemplo de trabajo esfuerzo y perseverancia, siempre velando por los suyos brindándonos cuidado y apoyo incondicional enseñándonos a ser personas de bien y a no rendirse en conseguir nuestros sueños.*

*Wilmer*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por haberme bendecido con unos padres y hermanos maravillosos, cuales siempre me brindaron su apoyo incondicional para que yo cumpla mi meta de llegar a ser profesional.*

*A mi universidad la Escuela Politécnica Del Ejercito quien me brindo todos los conocimientos que adquirí durante mi vida de estudiante.*

*A mi director y co-director quienes me brindaron sus conocimientos y guiaron a la realización de mi proyecto cumpliendo una meta más en mi vida.*

*Al Ing. Leónidas Quiroz, Ing. Juan Castro, Ing. Germán Erazo.*

*Talleres MALIZA, ADECO, FAME, METALMECANICA EL CERRAGERO, LARESHE, APM, quienes formaron un grupo de trabajo brindándonos su apoyo en cada detalle para la elaboración de esta tesis.*

*Wilmer*

## **DEDICATORIA**

*El esfuerzo de mis años de estudio dedico a Dios por ser por ser mi luz y mi fuerza en los momentos más difíciles y a mis padres, quienes con infinito amor me supieron guiar por el camino del estudio, para alcanzar una profesión, de ser un hombre de bien y al servicio de la sociedad.*

*A ellos dedico este trabajo fruto de su sacrificio y esfuerzos constantes.*

*Carlos Mauricio*

## **AGRADECIMIENTO**

*A DIOS por permitirme dar este gran pasó en mi vida profesional y por llenarme de bendiciones día a día.*

*A mis padres, José Reinaldo Sangucho y María Lucinda Leines por ser mi fortaleza, soporte y mi apoyo incondicional, por demostrarme que con dedicación y paciencia se puede cumplir todo lo anhelado.*

*A mis hermanos Yolanda, Elvia y Jorge por brindarme sus sabios consejos, y guiarme en toda mi vida estudiantil.*

*A los Ingenieros Néstor Romero y Guido Torres quienes han colaborado con su tiempo y conocimientos para que el desarrollo de mi proyecto de tesis.*

*De igual manera hago extensivo mi agradecimiento a los Ingenieros. Gerardo de la Torre, Carlos Espinoza y Renato Arboleda, quienes dieron apertura en sus respectivas empresas y colaboraron en el desarrollo del presente proyecto.*

*Carlos Mauricio*



## INTRODUCCIÓN

El sistema de inyección HEUI (inyector unitario accionado hidráulicamente y controlado electrónicamente) representa una de las más significantes innovaciones en la tecnología de los motores diesel en las últimas décadas. HEUI supera muchas de las limitaciones de la mecánica y de los inyectores electrónicos convencionales, establece nuevos estándares de eficiencia de combustible, confiabilidad y control de emisiones.

Los sistemas mecánicos de combustible impulsados por un eje de levas del motor, limitan la capacidad de presurizar el combustible a bajas revoluciones para obtener la mejor atomización posible y distribución del combustible en la cámara de combustión. En razón de que la velocidad del “plunger” depende de la velocidad del motor, a bajas revoluciones, la velocidad del émbolo es proporcionalmente más lenta.

Los Motores y máquinas provistos con Inyección HEUI utilizan la energía hidráulica en lugar de la energía mecánica para operar los inyectores de combustible, trabajo en conjunto con el ECM (Módulo de Control Electrónico) del motor, además ofrece un control muy preciso de medición de combustible y tiempos de inyección exactos, ofreciendo un óptimo rendimiento del motor y una mayor economía.

HEUI permite variar presión de actuación de inyección por vía electrónica. Esta capacidad única significa que la regulación de la presión de inyección es completamente independiente de la velocidad del cigüeñal, como resultado la presión máxima para la pulverización está disponible con el motor funcionando a régimen máximo o mínimo.

Por lo tanto, durante la aceleración o cambios repentinos de carga a bajas velocidades, el sistema puede ajustar instantáneamente la presurización de combustible y cumplir con los requisitos para un

rendimiento sobresaliente y reducir al mínimo las emisiones de gases contaminantes.

La presión de inyección es controlada por el Módulo de Control Electrónico o (ECM) y el flujo hidráulico es dirigido a los actuadores hidráulicos en cada inyector. El inyector se activa electrónicamente (como en el sistema EUI) el aceite bajo alta presión mueve un pistón que mueve el “plunger” presurizando el combustible.

Los motores equipados con el sistema de combustible HEUI están disponibles en los equipos de construcción y aplicaciones industriales. El buen funcionamiento del sistema de inyección HEUI depende del estado y condiciones de los inyectores y por ello es necesario comprobarlos periódicamente. Los síntomas de suciedad o desgaste de los inyectores evidencian la emisión de humo negro en el escape, fuerte golpeteo del motor, pérdida de potencia, sobrecalentamiento, fallos de encendido y mayor consumo de combustible.

En la actualidad el servicio y mantenimiento a los sistemas de alimentación de combustible diesel HEUI, en nuestro país sólo lo realizan en los concesionarios autorizados, lo que origina que los costos del servicio sean elevados y ocasionan una pérdida de productividad de la herramienta de trabajo.

El objetivo del presente trabajo es el **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE DE INYECTORES DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.** La realización de este proyecto es factible e importante debido a que se hace una investigación profunda de la electrónica aplicada a los sistemas de inyección diesel y se da solución a los problemas más comunes presentados por estos inyectores.

Este trabajo de investigación está dividido en cinco capítulos.

**Capítulo I:** Se detallan las situaciones, razones y objetivos alcanzados con la ejecución del proyecto a desarrollarse.

**Capítulo II:** Se describen los principios fundamentales del sistema de inyección HEUI. Además se detallan los componentes y parámetros para el funcionamiento del sistema de inyección HEUI, que serán considerados para el diseño y construcción.

**Capítulo III:** Se describe el planteamiento de la hipótesis y las variables de la investigación.

**Capítulo IV:** Describe el diseño hidráulico, mecánico, y electrónico del banco de simulación, diagnóstico y comprobación de inyectores.

**Capítulo V:** Se describen las operaciones de montaje mecánico, control electrónico, instalación y pruebas de funcionamiento de los inyectores HEUI.

**Capítulo VI:** Se describe el análisis de costos, el cual determina si la ejecución de proyecto es rentable y competitiva frente a otros sistemas fabricados por otras compañías.

Finalmente se encuentran las referencias bibliográficas y los anexos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO.

CARÁTULA .....	i
DECLARACIÓN DERESPONSABILIDAD .....	ii
CERTIFICADO .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO. ....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
ÍNDICE DE TABLAS. ....	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxxii
RESUMEN .....	xxxii
ABSTRACT .....	xxxiii
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA. ....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	3
1.3. OBJETIVO GENERAL. ....	4
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE H.E.U.I. ....	7
2.2. APLICACIONES.....	9

<b>2.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN HEUI. ....</b>	<b>10</b>
<b>2.4. INYECTOR UNITARIO CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE Y ACTUADO HIDRÁULICAMENTE. ....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.1. COMPONENTES MAYORES DEL INYECTOR.....</b>	<b>12</b>
a. GRUPO CUERPO DE VÁLVULA. ....	13
b. GRUPO PISTÓN INTENSIFICADOR, CILINDRO Y PISTÓN DE BOMBEO. ....	17
c. GRUPO TOBERA. ....	18
<b>2.4.2. OPERACIÓN DEL INYECTOR. ....</b>	<b>19</b>
a. PREINYECCIÓN. ....	19
b. INYECCIÓN PILOTO. ....	20
c. RETARDO DE LA INYECCIÓN. ....	22
d. INYECCIÓN PRINCIPAL. ....	23
e. FINAL DE LA INYECCIÓN. ....	24
<b>2.5. SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO. ....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.1. COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA HEUI. 26</b>	
a. MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO ECM. ....	26
b. MÓDULO IMPULSOR DE LOS INYECTORES IDM. ....	27
c. SENSORES. ....	30
d. ACTUADORES. ....	33
<b>2.6. BOMBA HIDRÁULICA. ....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.1. TIPOS DE PRESIÓN DE ACCIONAMIENTO. ....</b>	<b>35</b>
<b>2.7. VÁLVULA DE CONTROL DE LA PRESIÓN DE ACCIONAMIENTO DE LA INYECCIÓN Y SENSOR (IAP). ....</b>	<b>36</b>
<b>2.8. SENSOR DE PRESIÓN DE ACTUACIÓN DE INYECCIÓN. ....</b>	<b>39</b>
<b>2.9. BOMBA DE TRANSFERENCIA DE COMBUSTIBLE. ....</b>	<b>39</b>
<b>2.10. EL REGULADOR DE LA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE. ....</b>	<b>40</b>
<b>2.11. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN HEUI. . 41</b>	
<b>2.11.1. SISTEMA DE ACEITE DE BAJA PRESIÓN. ....</b>	<b>41</b>
<b>2.11.2. SISTEMA DE ACEITE DE ALTA PRESIÓN (HIDRÁULICO). ....</b>	<b>42</b>
<b>2.11.3. SISTEMA DE BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE. ....</b>	<b>43</b>

2.12.	<b>ELECTRÓNICA DIGITAL Y PROGRAMABLE.....</b>	<b>45</b>
2.12.1.	<b>ARDUINO.....</b>	<b>45</b>
a.	<b>ARDUINO 2560.....</b>	<b>46</b>
b.	<b>MOSFET.....</b>	<b>49</b>
c.	<b>OPTOACOPLADOR.....</b>	<b>50</b>
d.	<b>LM35.....</b>	<b>51</b>
3.	<b>PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>54</b>
3.1.	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>54</b>
3.1.1.	<b>HIPÓTESIS GENERAL.....</b>	<b>54</b>
3.1.2.	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....</b>	<b>54</b>
3.2.	<b>VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>55</b>
3.2.1.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE.....</b>	<b>55</b>
3.2.2.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE.....</b>	<b>55</b>
3.2.3.	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>55</b>
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>57</b>
4.	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
4.1.	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
4.2.	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>59</b>
4.3.	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>61</b>
4.4.	<b>DISEÑO DE ENCUESTAS PARA GENERACIÓN DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>61</b>
4.5.	<b>VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....</b>	<b>63</b>
4.6.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
4.6.1.	<b>PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....</b>	<b>65</b>
4.7.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
4.8.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
4.9.	<b>ESQUEMA DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>76</b>
4.10.1.	<b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.....</b>	<b>76</b>
4.10.2.	<b>DISEÑO HIDRÁULICO.....</b>	<b>77</b>

4.10.3.	COMPONENTES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA EL BANCO DE PRUBAS H.E.U.I. ....	77
4.10.4.	SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	79
4.10.5.	SELECCIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA DE ALTA PRESIÓN Y BAJA PRESIÓN. ....	79
4.10.6.	SELECCIÓN DEL ACOPLAMIENTO MECÁNICO.....	83
4.10.7.	SELECCIÓN DE LA VÁLVULA DE ALIVIO.....	86
4.10.8.	SELECCIÓN VALVULAS DE PASO.....	87
4.10.9.	SELECCIÓN DE LOS MANÓMETROS.....	89
4.10.10.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN.....	90
4.10.11.	SELECCIÓN DEL RESERVORIO DE ACEITE. ....	93
4.10.12.	SELECCIÓN DE MANGUERAS HIDRÁULICAS.....	96
4.10.13.	SELECCIÓN DE UNIONES HIDRÁULICAS. ....	98
4.10.14.	SELECCIÓN DEL FLUIDO HIDRÁULICO DE CALIBRACIÓN. ....	98
4.11.	DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO EN AUTOMATION STUDIO 6.0 .....	99
4.11.1.	DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL SISTEMA. ....	100
4.11.2.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA. ....	100
4.12.	DISEÑO MECÁNICO .....	102
4.12.1.	PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA. .	103
4.12.2.	CROQUIS EN 3D DE LA ESTRUCTURA. ....	103
4.12.3.	ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN EL PROGRAMA ANSYS.....	104
4.12.4.	RESULTADOS DEL ESTUDIO. ....	104
	b. DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE. ....	106
	c. FACTOR DE SEGURIDAD. ....	107
4.13.	DISEÑO DE LA CONEXIÓN ELÉCTRICA.....	108
4.13.1.	INSTALACIÓN 220V PARA MOTORES TRIFÁSICOS. ....	108
4.13.2.	ESQUEMA DE CONEXIÓN SEGÚN LA NORMA IEC60034-8. ....	109

4.13.3.	CONEXIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA LA APLICACIÓN .....	116
4.13.4.	SELECCIÓN DEL CONDENSADOR DE ARRANQUE. .	116
4.13.5.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA EL MOTOR ELÉCTRICO.....	118
4.13.6.	DIAGRAMA DE INSTALACIÓN. ....	122
4.13.7.	MATERIALES USADOS EN LA INSTALACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO. ....	122
4.14.	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	125
4.14.1.	UNIDAD DE CONTROL. ....	125
4.14.2.	COMPONENTES DE LA UNIDAD DE CONTROL.....	125
a.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5 - 12V. ....	125
b.	FUENTE DE POTENCIA PARA LA ACTIVACIÓN DE LOS INYECTORES.....	126
c.	CIRCUITO DE CONTROL DE LA TEMPERATURA.....	131
d.	TARJETA PRINCIPAL.....	132
4.14.3.	MODO DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I.....	133
a.	MODO MANUAL O TEST DE FUGA Y ACTIVACIÓN DE LA BOBINA.....	134
b.	MODO AUTOMÁTICO. ....	136
CAPÍTULO V .....		139
5.	IMPLEMENTACIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I.....	140
5.1.	CONSTRUCCIÓN DEL BANCO. ....	140
5.1.1.	ESTRUCTURA METÁLICA. ....	140
5.1.2.	CUBIERTA.....	141
5.1.3.	CONTRUCCÓN DEL DEPÓSITO DE ACEITE.....	141
5.1.4.	ELEMENTO DE AJUSTE DE LOS INYECTORES H.E.U.I..	142
5.1.5.	CONTRUCCÓN DEL MECANISMO PARA VACIADO DE LAS PROBETAS. ....	143



5.1.6.	CONSTRUCCIÓN DEL PORTAINYECTORES. ....	144
5.1.7.	MONTAJE DE LA CUBIERTA Y ADITAMENTOS. ....	145
5.1.8.	ACABADOS.....	145
5.1.9.	DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PORTA INYECTORES. ....	146
5.1.10.	DIAGRAMA DE PROCESO PARA ESTRUCTURA METÁLICA.....	147
5.2.	MONTAJE DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	148
5.2.1.	MONTAJE DE LA CENTRAL HIDRÁULICA.....	148
5.2.2.	MONTAJE SISTEMA HIDRÁULICO DE ALTA Y BAJA PRESIÓN. ....	149
5.2.3.	DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO.....	150
5.2.4.	DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL RESERVORIO DE ACEITE.....	151
5.3.	MONTAJE SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO. ....	152
5.3.1.	DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO. ....	155
5.4.	GUÍAS DE PRUEBA Y DIAGNÓSTICO DE INYECTORES H.E.U.I. ....	156
CAPÍTULO VI .....		186
6.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	187
6.1.	RECURSOS.....	187
6.1.1.	RECURSOS HUMANOS.....	187
6.1.2.	RECURSOS TECNOLÓGICOS.....	187
6.1.3.	RECURSOS MATERIALES.....	188
6.2.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.....	188
6.2.1.	COSTO DE LA NAMO DE OBRA. ....	188
6.2.2.	COSTO DE FABRICACIÓN DE TARJETAS.....	189
6.2.3.	COSTO DE ESTRUCTURA Y PARTES MECÁNICAS. ....	189
6.2.4.	COSTO SISTEMA HIDRÁULICO. ....	190
6.2.5.	COSTO NETO DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I. ....	190

6.2.6. ANÁLISIS DEL COSTO VERSUS EL BENEFICIO. ....	191
6.2.7. FINANCIAMIENTO. ....	191
6.3. CRONOGRAMA. ....	191
CONCLUSIONES .....	193
RECOMENDACIONES.....	195
BIBLIOGRAFÍA .....	196
BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL.....	197
ANEXO A ESTRUCTURA PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES H.E.U.I. REALIZADO EN EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN SOLID WORDS.....	198
ANEXO B: PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES H.E.U.I.....	200
ANEXO C MANUAL DE SERVICIO DEL EQUIPO DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN PARA INYECTORES H.E.U.I. ..	221
ANEXO D ARTÍCULO DEL PROYECTO.....	222

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Sistema de inyección impulsado por un eje de levas. ....	7
Figura 2: Mejor atomización del combustible.....	8
Figura 3: Control de presión Hidráulica de inyección. ....	9
Figura 4: International 530E.....	10
Figura 6: International DT 466E.....	10
Figura 7: Tipos de inyectores.....	11
Figura 8: Inyector en corte. ....	12
Figura 9: Partes del inyector HEUI.....	12
Figura 10: Vista Interna Inyector HEUI.....	13
Figura 11: Onda de la corriente del solenoide del inyector H.E.U.I. ....	14
Figura 12: Solenoide energizado y movimiento de la válvula poppet.....	15
Figura 13: Solenoide del inyector HEUI con y sin alimentación del ECM. 16	
Figura 14: Funcionamiento del solenoide de actuación del inyector. ....	17
Figura 15: Funcionamiento Grupo pistón intensificador y pistón de bombeo. ....	18
Figura 16: Funcionamiento grupo tobera.....	18
Figura 17: Preinyección.....	20
Figura 19: Retardo de la inyección.....	23
Figura 20: Curva de las etapas de inyección. ....	23
Figura 21: Inyección principal. ....	24
Figura 22: Válvula check abierta para paso de combustible a la galería de suministro.....	25
Figura 23: Componentes del sistema electrónico.....	26

Figura 24: Ubicación del ECM del motor. ....	27
Figura 25: IDM como distribuidor. ....	27
Figura 26: IDM como Fuente de energía. ....	28
Figura 27: IDM como controlador de salidas de alta. ....	29
Figura 28: IDM como controlador de salidas de baja. ....	30
Figura 29: Tipos de sensores. ....	30
Figura 30: Sensor de presión 3 cables. ....	31
Figura 31: Sensor de temperatura. ....	32
Figura 32: Sensor de posición del acelerador. ....	33
Figura 33: Sensores primario y secundario de velocidad. ....	33
Figura 34: Actuadores inyección HEUI. ....	33
Figura 35: Bomba hidráulica y sus sensores. ....	34
Figura 36: Válvula de control de la presión de accionamiento de la inyección. ....	37
Figura 37: Operación de la válvula de control de la presión de accionamiento de la inyección (Motor en funcionamiento). ....	38
Figura 38: Gestión electrónica para el funcionamiento de la IPR Y IAP. ...	38
Figura 39: Sensor IAP. ....	39
Figura 40: Bomba de transferencia de combustible con válvulas de retención. ....	40
Figura 41: Regulador de presión de combustible. ....	40
Figura 42: Sistema de Aceite de baja presión. ....	42
Figura 43: Sistema de Aceite de alta presión. ....	43
Figura 44: Sistema de baja presión de combustible. ....	44
Tabla No. 3: Especificaciones Arduino 2560. ....	46

Figura 45: Arduino 2560.....	46
Figura 46: Microcontrolador Atmega 2560 .....	47
Figura 47: Mosfet de potencia IRFP460 para la aplicación.....	49
Figura 48: Características Mosfet de potencia IRFP460. ....	50
Figura 49: Optoacoplador fototransistor 4n25.....	51
Figura 50: circuito básico optoacoplador 4n25. ....	51
Figura 51: LM35.....	52
Figura 52: Pregunta 1.....	65
Figura 53: Pregunta 2.....	66
Figura 54: Pregunta 3.....	67
Figura 55: Pregunta 4.....	68
Figura 56: Pregunta 5.....	69
Figura 57: Pregunta 6.....	70
Figura 58: Pregunta 7.....	71
Figura 59: Pregunta 8.....	72
Figura 60: Pregunta 9.....	73
Figura 61: Pregunta 10.....	74
Figura 62: Circuito Hidráulico inicial para la aplicación.....	79
Figura 63: Identificación técnica de la bomba hidráulica doble.....	80
Figura 64: Bomba de aceite de alta y baja presión. ....	82
Figura. 65: Motor eléctrico para la aplicación. ....	83
Figura 66: Selección del acople de quijadas para la aplicación.....	85
Figura 67: Símbolo Válvula RV3. ....	87
Figura 68: Válvula de alivio RV3 y housing para la aplicación.....	87

Figura 69: Identificación de la válvula de paso de alta presión.....	88
Figura 70: Válvula de paso de alta presión para la aplicación. ....	88
Figura 71: Identificación de la válvula de paso de baja presión.....	88
Figura 72: Manómetro utilizado en la aplicación.....	89
Figura 73: Identificación técnica de manómetros de presión. ....	90
Figura 74: Identificación de filtros de succión. ....	91
Figura 75: Filtros de succión para la aplicación.....	91
Figura 76: Filtro utilizado en la aplicación. ....	92
Figura 77. Identificación del soporte del filtro.....	92
Figura 78: Filtro de Saturación C120 para la aplicación.....	92
Figura 79: Reservorio de aceite estándar. ....	94
Figura 80: Tapa de depósito con malla de filtro de 40 $\mu$ m con aireador. ..	94
Figura 81: Reservorio de aceite estándar. ....	95
Figura 82: Indicador de temperatura con visor de nivel de aceite. ....	95
Figura 83: Gráfica para la selección del diámetro interno de la manguera.	
97	
Figura 84: Diseño del circuito hidráulico para la aplicación.....	100
Figura 85: Simulación del circuito hidráulico en bypass al tanque. ....	101
Figura 86: Simulación del circuito hidráulico conectado a la carga. ....	102
Figura 87: Funcionamiento de la válvula de alivio.....	102
Figura 89: Croquis en 3D de la estructura del banco de pruebas.....	102
Figura 90: Fuerzas aplicadas a la estructura. ....	105
Figura 91: Tensión de von Mises (VON) de la estructura.....	106
Figura 92: Deformación unitaria equivalente de la estructura. ....	107

Figura 93: Factor de Seguridad de la estructura. ....	108
Figura 94. Conexión en triángulo con alimentación de 220V. ....	109
Figura 95: Conexión para invertir el giro del motor.....	109
Figura 96: Cuadro de instalaciones del motor norma IEC60034-8.....	110
Figura 97: Placa de instalación 220v conexión en triángulo.....	110
Figura 98: Cuadro de instalación 220v para la aplicación .....	111
Figura 99: Capacitores de arranque. ....	117
Figura 100: Capacitores permanentes.....	118
Figura 101: Disyuntor 80 A para 220v. ....	120
Figura 102: Relé térmico Ls (MT-32). ....	120
Figura 103: Contactor GMC-40 AC3 /220V/LG. ....	122
Figura 104: Diagrama de instalación del motor trifásico. ....	122
Figura 105: Pulsador luminoso 220v.....	123
Figura 106: Pulsador rasante 220v. ....	123
Figura 107: Prensa estopa cable 10. ....	123
Figura 108: Cable flexible para la conexión # 14.....	124
Figura 109: Cable negro 3x10 AWG 105°C. ....	125
Figura 110: Fuente de alimentación de 5 - 12 VCD. ....	125
Figura 111: Fuente de alimentación para activar los inyectores. ....	127
Figura 112: Fuente de potencia para los inyectores. ....	128
Figura 113: Diagrama de la fuente de potencia para los inyectores.....	128
Figura 114: Circuito optocoplador 4n25 y Mosfet IRF.....	129
Figura 115: Circuito optocoplador 4n25.....	129
Figura 116: Mosfet IRF utilizado para la aplicación.....	130

Figura 117: Mosfet de activación para los inyectores. ....	131
Figura 118: Conexión del sensor de temperatura en la placa arduino... ..	132
Figura 119: tarjeta principal y placa arduino mega.....	132
Figura 120: Diagrama esquemático de la tarjeta principal.....	133
Figura 121: Menú del sistema para las pruebas.....	134
Figura 122: Conjunto de conmutadores en la señal de cada bobina del inyector.....	135
Figura 123: Opciones para la prueba de fuga y activación de la bobina.	135
Figura 124: Ancho de pulso test de fuga 1.5ms en alto y en bajo. ....	135
Figura 125: Ancho de pulso test de fuga 0,5ms en alto y 2.5ms en bajo.	136
Figura 126: Opciones de prueba para el modo automático.....	136
Figura 127: Opciones de prueba para el modo usuario.....	137
Figura 128: Esquema general. ....	140
Figura 129: Estructura metálica del banco.....	141
Figura 130: Corte de la plancha con la cizalla hidráulica.....	141
Figura 131: Construcción del depósito de aceite.....	142
Figura 132: Construcción del depósito de aceite.....	142
Figura 133: Mecanismo de vaciado de probetas.....	143
Figura 134: Líneas de entrega del fluido de calibración. ....	143
Figura 135: Instalación del múltiple de suministro al porta inyectores. ....	144
Figura 136: Partes de la galería de aceite.....	144
Figura 137: Corte y pintado del porta inyectores.....	144
Figura 138: Ensamblado de tapas. ....	145



Figura 139: Ensamblado de la cubierta. ....	145
Figura 140: Fase de pintura. ....	145
Figura 141: Grupo motor y bomba hidráulica. ....	148
Figura 142: Central hidráulica. ....	148
Figura 143: Líneas de retorno al tanque. ....	149
Figura 144: Adaptación y montaje del sistema Hidráulico. ....	149
Figura 145: Instalación y fijación de placas. ....	152
Figura 146: Instalación del mosfet de potencia. ....	152
Figura 147: Conmutadores . ....	153
Figura 148: Instalación del LCD y placa de controles. ....	153
Figura 149: Instalación eléctrica para el motor trifásico. ....	153
Figura 150: Capacitores de arranque. ....	154
Figura 151: instalación de pulsador on/off para el encendido del motor eléctrico. ....	154
Figura 152: Operación del equipo de diagnóstico H.E.U.I. ....	156
Figura 153: Conjunto de conmutadores en la señal de cada bobina del inyector. ....	158
Figura 154: Inyector sometido a alta presión sin fuga por el orificio de descarga. ....	158
Figura 155: Inyector sometido a alta presión con fuga por el orificio de descarga. ....	159
Figura 156: Descarga excesiva de aceite. ....	159
Figura 157: Entrega a alta presión. ....	164
Figura 158: O-ring en las Galerías de aceite y combustible. ....	165
Figura 159: O-ring interno del pistón intensificador y cilindro. ....	165

Figura 160: Desmontaje del solenoide del inyector.....	170
Figura 161: Desmontaje de la armadura y poppet. ....	171
Figura 162: Sujeción de la poppet en la entenalla.....	171
Figura 163: Desmontaje de la armadura y poppet. ....	172
Figura 164: Retiro de o-ring del espaciador. ....	172
Figura 165: Despiece grupo cuerpo de válvula con solenoide y válvula de poppet. ....	172
Figura 166: Desmontaje del cilindro.....	173
Figura 167: Desmontaje del plunger y pistón intensificador. ....	173
Figura 168: Desmontaje del o-ring del interior del cilindro.....	173
Figura 169: Grupo tobera. ....	174
Figura 170: Despiece del grupo tobera.....	174
Figura 171: Despiece total del inyector H.E.U.I. ....	174
Figura 172: Secuencia de montaje cilindro y pistón de bombeo.....	175
Figura 174: Secuencia de montaje.....	176
Figura 175: Elementos para la calibración .....	176
Figura 176: Ajuste del espaciador.....	177
Figura 177: Posición del orificio de descarga. ....	177
Figura 178: Montaje de la armadura sobre el espaciador. ....	178
Figura 179: Comprobación de la luz de la armadura. ....	178
Figura 180: Colocación de láminas de calibración bajo la armadura. ....	178
Figura 181: Comprobación del solenoide.....	179
Figura 182: asiento de la válvula poppet. ....	179
Figura 183: Pulimento especial para el asiento. ....	180

Figura 184: Operación de asentamiento. ....	180
Figura 185: Comparación del plunger en buen y mal estado. ....	181
Figura 187: Pistón intensificador en buen estado. ....	182
Figura 188: Comparación de un o-ring en buen y mal estado. ....	182
Figura 189: Elementos a pulir. ....	183
Figura 190: Verificación de la tobera y válvula de aguja. ....	183
Figura 191: Válvula de aguja desgastada. ....	184

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla No. 1: Parámetros del pulso de inyección. ....	14
Tabla No. 2: Alimentación de voltaje para elementos del control electrónico.....	34
Tabla No. 3: Especificaciones Arduino 2560.....	46
Tabla No. 4: Operacionalización de variables Independientes. ....	55
Tabla No. 5: Operacionalización de variables dependientes. ....	56
Tabla No. 6: Descripción de variables para muestra finita con datos tomados. 60	
Tabla No. 7: Tabulación pregunta 1 .....	65
Tabla No. 8: Tabulación pregunta 2.....	66
Tabla No. 9: Tabulación pregunta 3.....	67
Tabla No. 10: Tabulación pregunta 4.....	68
Tabla No. 11: Tabulación pregunta 5.....	69
Tabla No. 12: Tabulación pregunta 6.....	70
Tabla No. 13: Tabulación pregunta 7.....	71
Tabla No. 14: Tabulación pregunta 8.....	72
Tabla No. 15: Tabulación pregunta 9.....	73
Tabla No. 16: Tabulación pregunta 10.....	74
Tabla No. 17: Componentes y parámetros preliminares.....	78
Tabla No. 18: Datos técnicos bomba hidráulica. ....	79
Tabla No. 19: Datos técnicos bomba hidráulica y motor eléctrico. ....	81
Tabla No. 20: Presiones de funcionamiento bomba de alta presión. ....	82
Tabla No. 21: Coeficiente K1 para máquina motriz y receptora.....	84

Tabla No. 22: Coeficiente K2 para frecuencia de arranque.....	85
Tabla No. 23: Coeficiente K3 para número de horas de funcionamiento diario.....	85
Tabla No 24. Código de modelo RV3 de baja.....	86
Tabla No. 25: Código de modelo RV3 de alta.....	86
Tabla No. 26: Especificaciones de la válvula de alivio RV3. ....	87
Tabla No. 27: Parámetros de operación.....	88
Tabla No. 28: Parámetros de operación.....	89
Tabla No. 29: Parámetros de operación de los manómetros. ....	89
Tabla 30. Dimensiones y parámetros de operación del filtros de succión.	91
Tabla No. 31: Parámetros de operación del soporte del filtro. ....	92
Tabla No. 32: Parámetros del indicador de saturación. ....	93
Tabla No 33: Eficiencia estándar de motores trifásicos WEG.....	111
Tabla No. 34: Capacidad del condensador. ....	116
Tabla No. 35: Corriente de consumo del motor, fusible y protección. ....	118
Tabla No. 36: Tabla AWG de calibre de conductores y amperaje máximo.	
124	
Tabla No. 37: Características de operación de la fuente de alimentación de 12 VCD. ....	126
Tabla No. 38: Características de operación de la fuente de potencia. ....	127
Tabla No. 39: Características del circuito optoacoplador 4n25.....	131
Tabla No. 40: Características de la tarjeta principal.....	133
Tabla No. 41: Modo de operación del sistema.....	134
Tabla No 42: Modo de operación del sistema H.E.U.I. ....	156
Tabla No.43: Parámetro de entrega alta presión.....	164

Tabla No.44: Parámetro de entrega.....	168
Tabla No. 45: Diagnóstico de inyectores HEUI.....	170
Tabla No 46: Costo de la mano de obra.....	189
Tabla No 47: Costo de la fabricación de los módulos eléctricos.....	189
Tabla No. 48: Costo de estructura y partes mecánicas. ....	189
Tabla No. 49: Costo componentes del sistema hidráulico.....	190
Tabla No. 50: Costo neto del proyecto. ....	190

## ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Tamaño Muestral.....	60
Ecuación 2: Caudal para la bomba hidráulica.....	81
Ecuación 3: Potencia para el motor eléctrico.....	81
Ecuación 4: Selección de acoplamiento mecánico.....	83
Ecuación 5: Par nominal del acoplamiento.....	85
Ecuación 6: Volumen del depósito.....	93
Ecuación 7: Diámetro interno de la manguera.....	97
Ecuación 8: Tensión Von.....	105
Ecuación 9: Deformación unitaria equivalente.....	106
Ecuación 10: Factor de seguridad.....	107
Ecuación 11: Corriente de consumo del motor eléctrico.....	111
Ecuación 12: Corriente de consumo del motor eléctrico trifásico.....	112
Ecuación 13: Potencia absorbida por el motor.....	112
Ecuación 14: Eficiencia del motor eléctrico.....	112
Ecuación 15: Pérdidas.....	114
Ecuación 16: Par motor.....	114
Ecuación 17: Par resistente.....	115
Ecuación 18: Protección fusible.....	118
Ecuación 19: Protección interruptor magnético-térmico.....	119
Ecuación 20: Factor de potencia del transformador.....	127

## RESUMEN

La presente investigación parte de la necesidad de generar aprendizajes significativos en Sistemas de inyección de combustible Diesel para maquinaria y equipo pesado, que responda a la evolución del conocimiento acorde a los avances tecnológicos.

El sistema de inyección HEUI, representa una de las más significantes innovaciones en la tecnología de los motores diesel en décadas. En nuestro país los fabricantes de equipos de construcción y maquinaria pesada como Caterpillar, Ford e International ofertan sus equipos provistos con este sistema de inyección de combustible. Sin embargo el servicio de mantenimiento para inyectores HEUI, es elevado y se lo realiza solo en las mencionadas casas comerciales y fuera del país.

El proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un sistema de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyector diesel electrónicos H.E.U.I. a fin de determinar el funcionamiento, estado y condiciones de operación del inyector.

El marco teórico abarca los principios fundamentales de operación de los elementos del sistema, control electrónico, sensores, actuadores del campo automotriz, a partir de estos conocimientos se procede al diseño y construcción del banco de pruebas y con los estudios respectivos realizados, que hacen viable su desarrollo y construcción.

De acuerdo a los objetivos, es una investigación de tipo experimental y descriptiva, que utiliza como técnica de investigación: la observación, como instrumento de aplicación y recolección de datos: la encuesta. Los informantes son estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz de Octavo Nivel de la E.S.P.E. extensión Latacunga y laboratorios diesel de la provincia de Pichincha.



## **ABSTRACT**

This research is the need for significant learning in fuel injection systems for diesel and heavy equipment machinery that responds to the evolution of knowledge in line with technological advances.

The HEUI fuel injection system represents one of the most significant innovations in diesel engine technology for decades. In our country the manufacturers of construction equipment and heavy machinery such as Caterpillar, Ford and International offer their equipment supplied with the fuel injection system. However maintenance service for HEUI injectors, is high and it is performed in the aforementioned commercial houses at home and abroad.

The project aims at the design and construction of a simulation system, diagnosis and testing of fuel supply systems for electronic diesel HEUI injector to determine the operating state and conditions of injector operation.

The framework covers the fundamental principles of operation of the system components, electronic control, sensors, actuators automotive field, since this knowledge is applicable to the design and construction of the test stand and performed respective studies, which make feasible its development and construction.

According to the objectives, is an experimental research and descriptive, using as an investigative technique: observation, as an instrument of implementation and data collection: the survey. Informants are students of the School of Automotive Engineering Eighth Level of ESPE Latacunga and diesel based laboratories in the province of Pichincha.

**CAPÍTULO I**  
**EL PROBLEMA**

# **1. EL PROBLEMA.**

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La mecánica automotriz es una de las más amplias actividades a nivel mundial, por lo que el continuo avance tecnológico en motores diesel, lo sitúa en un lugar privilegiado en el sector de automoción, Las transformaciones introducidas en la inyección de combustible han sido la clave del auge de la tecnología diesel en los últimos años. Para lograr estas mejoras, ha sido necesario el desarrollo de nuevas tecnologías encaminadas a conseguir una mayor eficiencia del motor con menores emisiones de gases contaminantes, que proteja el medio ambiente. Es por ello que la directriz que guía la mayor parte de los trabajos de diseño y desarrollo es hoy en día la disminución del impacto medioambiental que provocan los motores de combustión interna.

El sistema de inyección H.E.U.I., representa una innovación en la tecnología de los motores diesel. Los fabricantes de equipos de construcción y maquinaria pesada como Caterpillar, Ford e International ofertan sus equipos con este sistema de inyección de combustible controlado electrónicamente y actuado hidráulicamente.

Sin embargo, en el Ecuador el costo del servicio de mantenimiento para inyectores HEUI, es elevado y se lo realiza en las casas comerciales mencionadas anteriormente.

Para el caso específico de las provincias de Pichincha y Cotopaxi, se evidencia la ausencia de laboratorios diesel que posean un equipo de diagnóstico adecuado y de bajo costo de operación.

La Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga, oferta la Carrera de Ingeniería Automotriz, sin embargo se evidencia la ausencia de un equipo de simulación, diagnóstico, y comprobación de inyectores H.E.U.I., donde los estudiantes puedan instruirse, capacitarse y comprender el

funcionamiento de este sistema de inyección, por lo nuestro trabajo se constituye en una herramienta que propicia aprendizajes significativos para los estudiantes y futuros profesionales.

Además cabe recalcar que el casi nulo acceso a laboratorios diesel por parte de los alumnos de la carrera, hace viable el diseño y construcción de un banco de pruebas H.E.U.I. para el laboratorio de Reparación Diesel, con el objetivo de mejorar el nivel de enseñanza dentro de nuestra la universidad.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

La E.S.P.E.L.tiene como propósito formar profesionales capacitados en el análisis de sistemas de inyección electrónicos, aplicados en maquinaria y equipo pesado, el problema se formula tomando en consideración las siguientes interrogantes.

- ¿Qué es y cómo funciona el Sistema de inyección de combustible HEUI y cuáles son sus componentes?
- ¿Existen profesionales capacitados en sistemas de inyección HEUI en la Facultad de Ingeniería Automotriz?
- ¿Se evidencia la ausencia de un banco para la simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyectores electrónicos H.E.U.I. en el Laboratorio de Reparación Diesel de la Carrera de Ingeniería Automotriz?

### **1.3. OBJETIVO GENERAL.**

- Diseñar y construir un sistema de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyectores diesel electrónicos H.E.U.I., y complementar la formación integral de los estudiantes y futuros profesionales de la carrera de Ingeniería Automotriz en la E.S.P.E.L.

### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Conocer el funcionamiento y componentes del Sistema de Inyección HEUI aplicados en maquinaria y equipo pesado y familiarizarse con la electrónica disponible en estos motores.
- Investigar la implementación del Sistema de Inyección H.E.U.I. en los equipos de construcción que actualmente se comercializan y estipular las ventajas con relación a sistemas de inyección diesel convencionales.
- Promover el estudio y aplicación de la electrónica en los nuevos sistemas de inyección de combustible diesel.
- Desarrollar los parámetros de funcionamiento del sistema de inyección H.E.U.I., para la localización de fallas de los inyectores, que permitan adoptar criterios de reparación seguros y confiables.
- Motivar e incentivar la realización de estos proyectos, que fortalecen el aprendizaje y la enseñanza de nuestra carrera.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

La implementación de sistemas de inyección de combustible con accionamiento hidráulico y control electrónico, fue creada con el fin de disminuir la contaminación al medio ambiente logrando una mejor atomización del combustible fósil al estar sometido a elevadas presiones, generando una mayor eficiencia del motor y una disminución de emisiones contaminantes, constituyéndose en un herramienta importante para el cuidado del medio ambiente.

El estudio del sistema de inyección de combustible con accionamiento hidráulico y control electrónico permite, determinar el correcto funcionamiento del inyector, así como sus fallas de inyección. Surgiendo de ahí la necesidad de contar con un banco diseñado para un diagnóstico completo del inyector H.E.U.I.

De acuerdo con las investigaciones realizadas en la provincia de Pichincha y en la zona centro del país, son escasos los centros de laboratorios diesel y talleres de servicio pesado, que cuentan con un banco de pruebas para inyectores H.E.U.I., debido a su alto valor económico.

La implementación del dispositivo de diagnóstico, comprobación y reparación de inyectores diesel electrónicos para el Laboratorio de Reparación diesel de la ESPEL, se considera un aporte trascendental para la comunidad, ya que se da solución a la necesidad de contar con un banco de pruebas adecuado para esta clase de inyectores y de bajo costo.

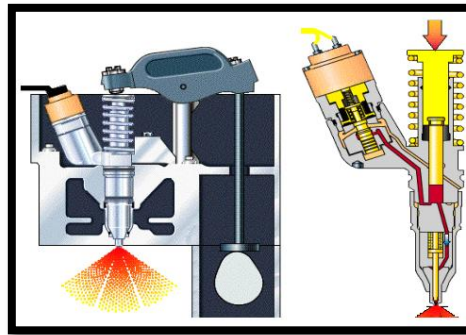
Los estudiantes y futuros profesionales tendrán la oportunidad de realizar prácticas, conocer el funcionamiento del sistema inyección H.E.U.I. y estar en la capacidad de realizar diagnósticos, detectar fallas y formular reparaciones.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE H.E.U.I.

Los sistemas de inyección convencionales para motores diesel utilizan un émbolo y un pistón para bombear el combustible a alta presión dentro de la cámara de combustión. Otros sistemas de combustible utilizan un lóbulo del árbol de levas de la bomba de inyección de combustible para impulsar el émbolo Figura1.



Fuente: Grupode investigación.

Figura 1: Sistema de inyección impulsado por un eje de levas.

La principal desventaja de los sistemas mecánicos de combustible impulsados por un eje de levas del motor, es limitar la capacidad de presurización del combustible a bajas revoluciones, para obtener la mejor atomización posible y distribución del combustible en la cámara de combustión. En razón de que la velocidad del “plunger” depende de la velocidad del motor. A bajas revoluciones, la velocidad del émbolo es proporcionalmente más lenta

El sistema de combustible HEUI, está compuesto por un inyector unitario controlado electrónicamente y activado hidráulicamente, que utiliza el aceite del motor a alta presión y lo presuriza aproximadamente de 870 lb/pulg<sup>2</sup> hasta 3.100 lb/pulg<sup>2</sup> para impulsar el plunger y bombear combustible desde el inyector.



El sistema HEUI opera de la misma forma que un cilindro hidráulico para multiplicar la fuerza del aceite a alta presión y obtener presiones de inyección muy elevadas. Esta multiplicación de la presión se consigue al aplicar a un pistón intensificador la fuerza del aceite a alta presión. El pistón, impulsado por el aceite lubricante del motor a alta presión, empuja el émbolo y presuriza al combustible.

Al aceite lubricante a alta presión se conoce como presión de accionamiento del aceite que a su vez genera la presión de inyección que entrega el inyector unitario. Esta presión de inyección es aproximadamente de seis a siete veces mayor que la presión de accionamiento del aceite.

La alta presión de accionamiento del aceite da como resultado una alta presión de inyección, con una mejor atomización y distribución del combustible, que permite una combustión más completa, reduce las emisiones y aumenta el rendimiento del motor.

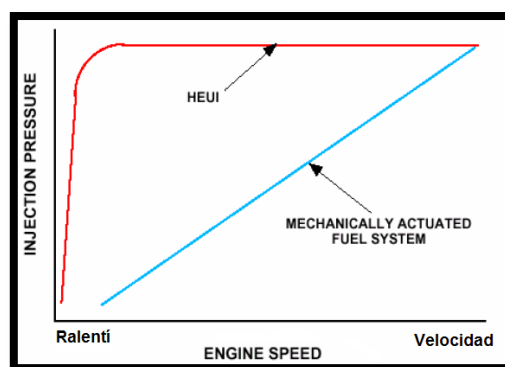


Fuente: Grupode investigación

Figura 2: Mejor atomización del combustible.

HEUI permite variar presión de actuación de inyección por vía electrónica. Esta capacidad única significa que la regulación de la presión de inyección es completamente independiente de la velocidad del cigüeñal, como resultado la presión máxima para la pulverización está

disponible con el motor funcionando a régimen máximo o mínimo (Figura 3). Además provee un control muy preciso de medición de combustible y tiempos de inyección exactos, ofreciendo un óptimo rendimiento y una mayor economía. La baja presión de accionamiento del aceite da como resultado una baja presión de inyección del combustible y se utiliza en condiciones de baja velocidad tales como la operación en vacío y el arranque.



Fuente: Grupode investigación

Figura 3: Control de presión Hidráulica de inyección.

## 2.2. APLICACIONES.

Los fabricantes de equipos de construcción y maquinaria pesada como Caterpillar, Ford e International ofertan sus equipos provistos con este sistema de inyección de combustible actuado electrónicamente y accionado hidráulicamente. Figuras 4, 5 y 6.

Los motores equipados con este sistema de combustible están disponibles en equipos de construcción y aplicaciones industriales que se incluyen:

- Kodiak 3126 E.
- Ford 7.3L.
- Navistar DT466e
- Navistar 530e.



**Fuente:**Grupo de investigación.



**Fuente:**Grupo de investigación.

**Figura 4:** International 530E.**Figura 5:** Kodiak 7500 3126E.



**Fuente:**Grupo de investigación.

**Figura 6:** International DT 466E.

### **2.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN HEUI.**

El sistema de combustible consta de 6 partes fundamentales:

- Inyector Unitario Electrónico De Accionamiento Hidráulico (HEUI).
- Sistema de control electrónico.
- Bomba Hidráulica.
- Válvula de control de la presión de accionamiento de la inyección IAP.
- Sensor de control de la presión de accionamiento de la inyección IAP.
- Bomba de transferencia de combustible.
- El regulador de la presión de combustible.

## 2.4. INYECTOR UNITARIO CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE Y ACTUADO HIDRÁULICAMENTE (HEUI).

La primera generación de sistemas de inyección HEUI apareció en 1993 a 1997 con el inyector tipo A (Internacional/Ford), que se identifica por el solenoide de color negro. Al mismo tiempo Caterpillar desarrolló un inyector con el solenoide montado a un lado del mismo, donde el aceite ingresa por la parte superior del inyector a través de tubos puente de alta presión. En 1997 al 2001 los fabricantes presentaron el Inyector tipo B, que se distingue por el solenoide de color blanco y tiene la capacidad de inyectar una pequeña cantidad de combustible a la cámara 8 – 10 grados antes de la inyección principal. Esta inyección piloto conocida como PRIME o split shot ofrece ventajas importantes en la reducción de emisiones, reduce el ruido de la combustión. La inyección piloto sirve para establecer un frente de llama y ayuda a que la inyección principal se quemara completamente y de manera controlada. La segunda generación de inyectores HEUI aparecieron en el año 2003. Estos inyectores utilizan menos energía, tienen dos bobinas electromagnéticas con lo que se mejora su capacidad de respuesta. Figura 7.



Fuente:<http://alliantpower.com/pdf/InjectorsJune10.pdf>

Figura 7: Tipos de inyectores.

Funciones básicas de los inyectores HUEUI.

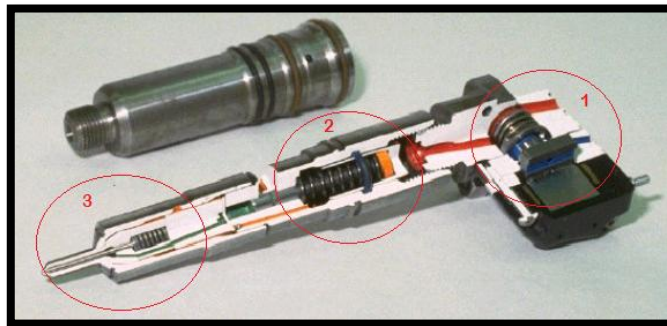
- Presuriza y suministra el combustible desde 65 psi a 5400-23500 psi
- Atomiza el combustible a través de los orificios del inyector.

- Entrega la cantidad correcta de combustible atomizado a la cámara de combustión.
- Dispersa el combustible atomizado uniformemente a lo largo de la cámara de combustión.

#### 2.4.1. COMPONENTES MAYORES DEL INYECTOR.

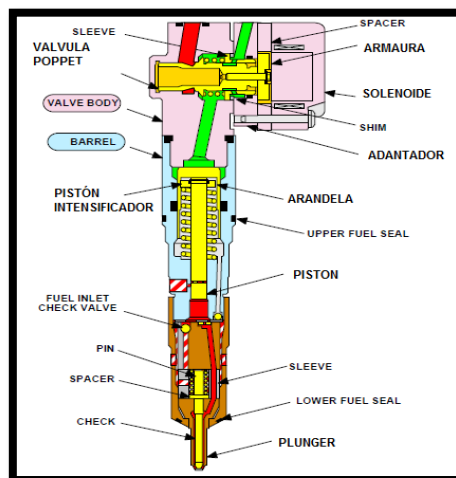
En la siguiente figura 8 se muestra un inyector (CAT 3408E y 3412E) en corte y la camisa de inyector. Está constituido por tres grupos mayores.

- Grupo cuerpo de válvula con solenoide y válvula de poppet.
- Grupo de pistón intensificador, Cilindro (cañón) con émbolo de bombeo
- Grupo de Tobera.



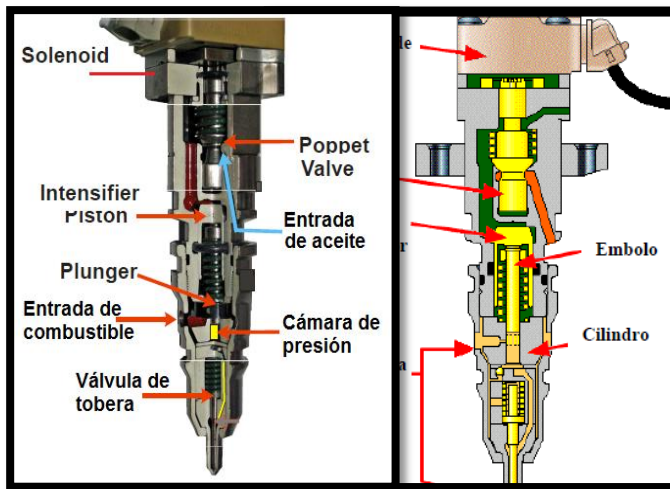
Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 8: Inyector en corte.



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 9: Partes del inyector HEUI.



Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión.

Figura 10: Vista Interna Inyector HEUI.

#### a. GRUPO CUERPO DE VÁLVULA.

##### SOLENOIDE DEL INYECTOR.

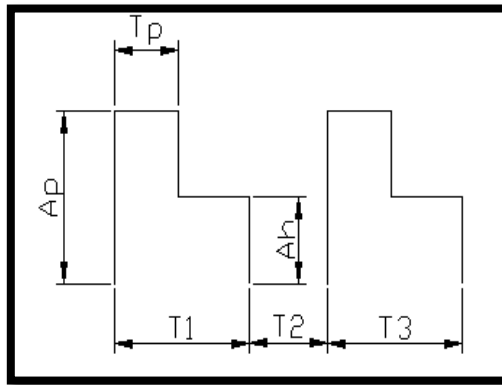
Es un electroimán, cuando está energizado desarrolla un campo magnético que atrae el inducido y cambia de posición a la válvula poppet.

El inyector es Controlado Eléctricamente por el ECM pero es accionado hidráulicamente. La señal del ECM controla la apertura y cierre de la válvula de solenoide, quien controla el flujo de alta presión de aceite hidráulico al interior del inyector. Funciona con una alimentación de 115 VCD y 10 A.

##### CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN DEL SOLEONIDE DEL INYECTOR.

La cantidad del combustible entregado es controlada variando el tiempo que el solenoide se energiza. Este período de tiempo es llamado "duración"; es calculada por el ECM y asegura la entrega de la cantidad correcta del combustible.

Dos niveles de energía se generan en la forma de onda de corriente del solenoide. Figura 11.



Fuente: Adeco Ltda.

Figura 11: Onda de la corriente del solenoide del inyector H.E.U.I.

Tabla No. 1: Parámetros del pulso de inyección.

Tiempo	Descripción	Tiempo pulsos [ms]
T1	Duración del primer Pulso	0.05 a 3
T2	Retardo entre pulsos	0.05 a 3
T3	Duración del segundo pulso	0.05 a 3
Tp	Tiempo de pico	0.05 a 1

Fuente: Adeco Ltda.

- **Ap o Pico de corriente máxima.**

El ECM envía una corriente mayor al solenoide para crear un campo magnético más fuerte que atrae la armadura, (la cual está en su distancia más lejana del solenoide) y levanta la válvula poppet de su asiento de entrada, hacia el asiento del escape contra la fuerza de resorte.

- **Ah o Intensidad de retención de la corriente máxima.**

El ECM reduce el nivel de la corriente para reducir el calor en el solenoide y aumentar la vida del mismo, sin embargo la poppet es mantenida en el asiento de escape.

La inyección comienza después que el asiento de escape está cerrado y la presión de aceite empuja el émbolo intensificador y pistón hacia abajo. El movimiento del pistón hacia abajo presuriza el combustible aproximadamente a 31000 kPa (4500 psi) y la tobera se levanta,

permitiendo que el combustible entre al cilindro. El tiempo en que se abastece de combustible y sale por la punta se llama " comienzo de inyección."

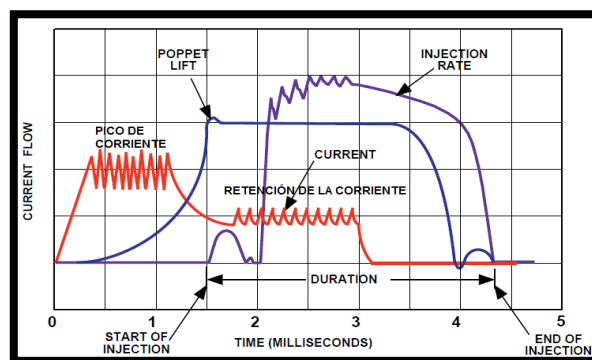
La proporción que se abastece de combustible inyectado es controlada por la presión de inyección hidráulica. La presión hidráulica más alta empuja el émbolo y plunger más rápidos, causando una proporción más alta del flujo por la punta de la tobera.

Cuándo el ECM finaliza la inyección, disminuye la corriente que causa que el campo magnético se desvanezca en el solenoide. El resorte de la válvula poppet mueve la poppet hacia el asiento de entrada, impidiendo el ingreso del aceite hidráulico al inyector, el émbolo y plunger regresan al punto de inicial, llenando el barril para la próxima carrera de inyección.

A continuación en el esquema de la figura 12 se muestra el movimiento de la válvula poppet cuando el ECM energiza el solenoide. Entonces, la tasa de inyector aumenta para el comienzo de inyección. El fin de la inyección ocurre cuando las gotas de tasa llegan a cero.

Por lo tanto:

- La cantidad de Combustible es una función directa para la Duración de inyección (0,5 a 3 ms), la presión de actuación (hidráulica) de Inyección y del comienzo de la inyección.



Fuente: Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E

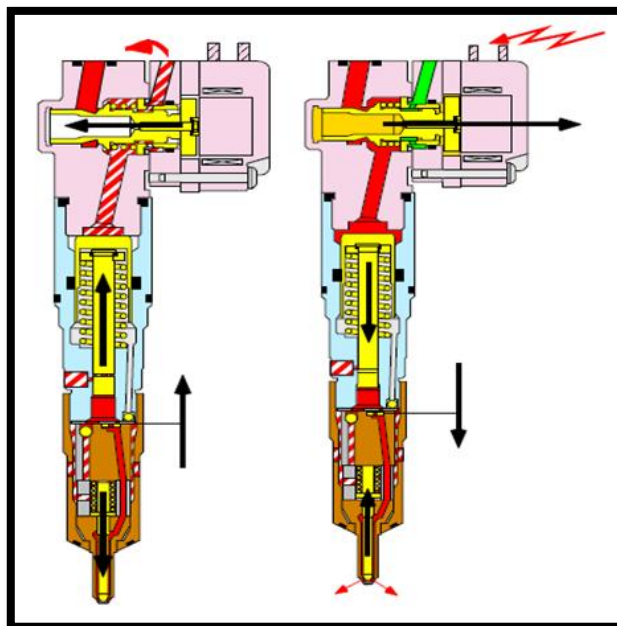
Figura 12: Solenoide energizado y movimiento de la válvula poppet.



## VALVULA POPPET.

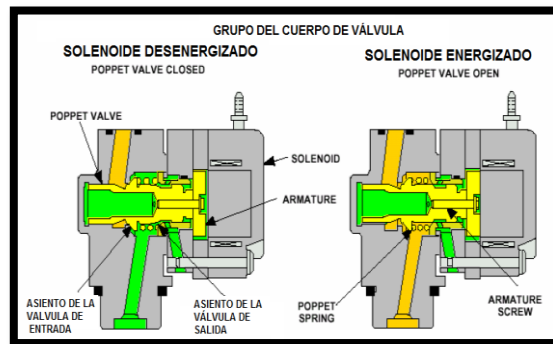
La válvula poppet tiene dos posiciones abierta y cerrada. Cuando el solenoide está desenergizado, la válvula poppet es mantenida en su asiento por su resorte (vista izquierda figuras 13 y 14). Con la válvula poppet cerrada, el asiento previene el ingreso de aceite a alta presión al inyector. Por el contrario, el asiento de escape de la válvula poppet está abierto, conectando la cavidad del Pistón intensificador a la atmósfera (retorno).

Basado en señales de entrada de los diversos sensores electrónicos, el ECM determina y calcula la cantidad de combustible para ser entregado por el inyector a la cámara de la combustión. En el tiempo apropiado envía una corriente eléctrica al solenoide del inyector. El solenoide desarrolla una fuerza magnética que atrae la armadura y cambia la posición la válvula poppet. La válvula poppet se mueve contra la fuerza de resorte, abre el asiento de admisión y cierra el asiento del escape. Vista derecha figuras 13 y 14.



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

**Figura 13:** Solenoide del inyector HEUI con y sin alimentación del ECM.



Fuente: Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 14: Funcionamiento del solenoide de actuación del inyector.

## b. GRUPO PISTÓN INTENSIFICADOR, CILINDRO Y PISTÓN DE BOMBEO.

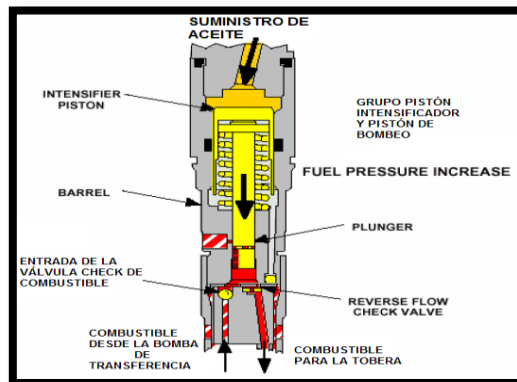
### PISTÓN INTENSIFICADOR.

La superficie del pistón intensificador es siete veces mayor que el área del plunger del combustible. Cuando el circuito hidráulico suministra una presión de 21000 kPa (3000 psi), aproximadamente 145000 kPa (21000 psi) serán generados debajo del plunger del combustible.

Cuando la válvula poppet permite el ingreso del aceite hidráulico bajo presión este se dirige por el tubo puente a la parte superior del pistón intensificador. El suministro de aceite empuja el émbolo del pistón intensificador y el plunger hacia abajo. El desplazamiento del plunger presuriza el combustible atrapado entre la cámara bajo el plunger y el asiento de la válvula de aguja.

### CILINDRO.

Es la parte que sujeta al émbolo, actúan en conjunto como una bomba y presurizan el combustible a alta presión. El cilindro contiene la lumbrera de derrame PRIME, el cual es un pequeño orificio rectificado por el lado del cilindro dentro del plunger. Este orificio descarga momentáneamente la presión de la inyección de combustible durante la carrera de descenso del émbolo.



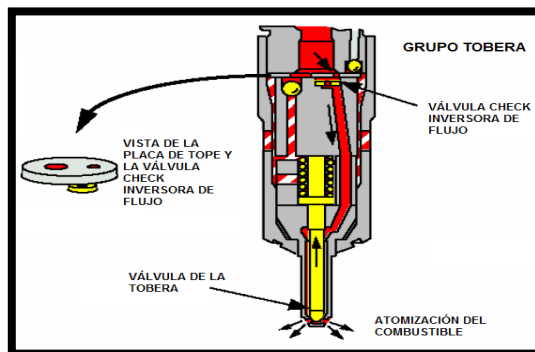
Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 15: Funcionamiento Grupo pistón intensificador y pistón de bombeo.

### c. GRUPO TOBERA.

Contiene, la Tobera, y la Válvula de Aguja. Cuando la presión atrapada excede la presión de apertura de la válvula de la tobera (VOP), aprox. 31000 kPa (4500 psi), la válvula de aguja se levanta, y abastece de combustible las perforaciones de la tobera en la cámara de combustión. Al final de la inyección, la válvula de aguja de la tobera se cierra aproximadamente a 21000 kPa (3000 psi).

La válvula check inversora de flujo es utilizada para prevenir la entrada de gases de combustión en el flujo de combustible introducido en la tobera. La tobera del inyector es muy semejante al inyector de la unidad EUI. Seis orificios, cada uno con un diámetro de 0.252 mm (.010 in.), son especificados en un ángulo de 140 grados. Figura 16.



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 16: Funcionamiento grupo tobera.

El fin de la inyección es alcanzada al cortar la corriente del ECM al solenoide del inyector. La pérdida de la fuerza magnética en la armadura permite que la fuerza del resorte cambie la posición de la válvula poppet al asiento de escape. El regreso de la válvula poppet a su asiento en el cuerpo de válvula, bloquea el flujo del suministro hidráulico de aceite al inyector, y simultáneamente se abre completamente el asiento de válvula de escape.

Cuando el inyector drena el aceite, el émbolo del intensificador y el pistón de combustible son empujados hacia arriba por la fuerza de resorte de retorno del Pistón, hasta que el pistón intensificador hace contacto con el cuerpo de válvula.

#### **2.4.2. OPERACIÓN DEL INYECTOR.**

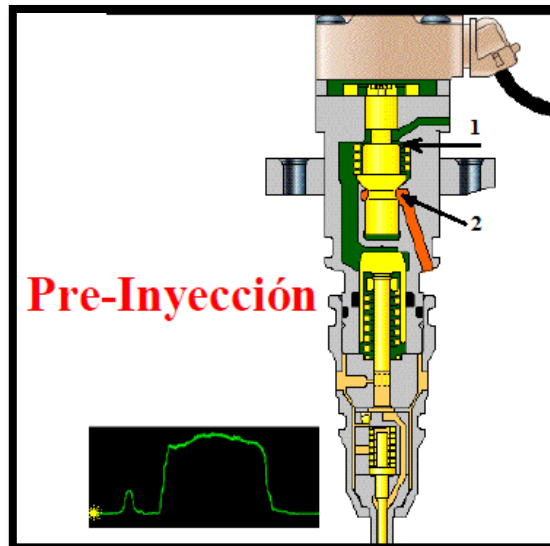
Existen 5 etapas de inyección en el Inyector HEUI.

- a. Preinyección.
- b. Inyección piloto.
- c. Retardo
- d. Inyección principal
- e. Fin de la inyección

##### **a. PREINYECCIÓN.**

Los elementos internos están en la posición de carga. El solenoide no está energizado y el asiento inferior de la válvula poppet (2) está cerrado impidiendo el ingreso de aceite de alta presión al inyector. El plunger y el pistón intensificador están en la parte superior de la lumbrera y la cavidad del émbolo está llena de combustible (figura 17). La presión de combustible en la cavidad es igual a la presión de suministro de combustible aproximadamente 65 Psi.

En la figura se observa: asiento superior de la válvula poppet abierto (1) y asiento inferior cerrado (2).



Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión.

Figura 17: Preinyección.

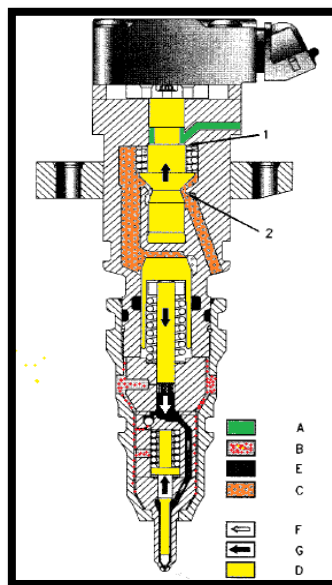
## b. INYECCIÓN PILOTO.

El ECM envía una corriente eléctrica al solenoide del inyector. “El solenoide desarrolla una fuerza magnética que atrae la armadura y cambia la posición la válvula poppet. La válvula poppet se mueve contra la fuerza del resorte, abre el asiento de admisión y cierra el asiento del escape.”<sup>[1]</sup> El aceite a alta presión ingresa al inyector y fluye a través de un conducto sobre el pistón intensificador. La alimentación de aceite empuja hacia abajo el pistón y el plunger presurizando el combustible atrapado entre la cámara bajo el plunger y el asiento de la válvula de aguja. Cuando la presión alcanza la presión de apertura de la válvula de aguja aprox. 4500 Psi. El obturador se levanta de su asiento y abastece de combustible las perforaciones de la tobera en la cámara de combustión.

<sup>[1]</sup> <http://es.scribd.com/doc/72681781/Manual-Del-HEUI>

Partes en funcionamiento de la inyección piloto.

- Asiento de la válvula poppet cerrado (1).
- Asiento de la válvula poppet abierto (2).
- drenaje a la atmósfera (A).
- presión de suministro de combustible (B).
- Presión del aceite de accionamiento (C).
- Piezas móviles (D).
- Presión de la inyección (E).
- Flujo de combustible (F).
- E. Movimiento mecánico (E).



Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión.

Figura 18: Inyección Piloto.

- **Dosificación de la Preinyección PRIME.**

PRIME ofrece ventajas importantes en la reducción de emisiones y ruido de la combustión. Los sistemas convencionales entregan una cantidad de combustible de una sola vez, el combustible inyectado tiende a hacer explosión en lugar de quemarse de manera controlada y completa, lo que origina explosiones en el motor y exceso de emisiones de NOx.

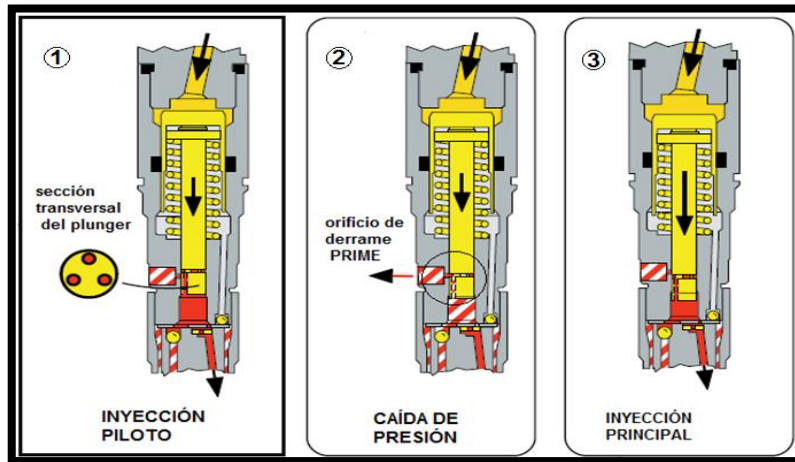
Los inyectores PRIME dividen la entrega en dos cantidades. La primera cantidad es una inyección piloto, seguida de un corto retardo y luego la inyección principal. La inyección piloto no es para producir potencia, sirve para establecer un frente de llama ayudando a la inyección principal a quemarse completamente y de manera controlada.

La demora le da a la inyección auxiliar el tiempo necesario para empezar a quemarse. La inyección principal se entrega después de la inyección piloto y se encuentra con el frente de llama establecido por esa inyección piloto. La combustión completa reduce las emisiones de hollín y productos nitrogenados, además de reducir el ruido del motor hasta en un 50%.

### **c. RETARDO DE LA INYECCIÓN.**

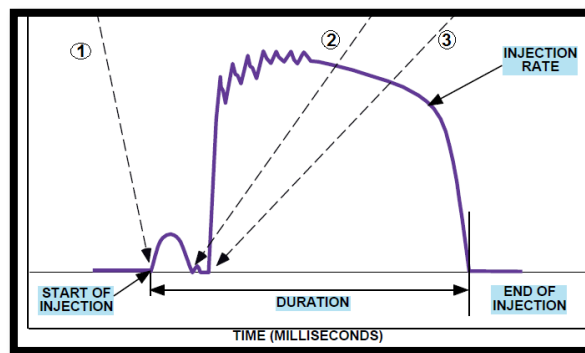
Comprende el funcionamiento del orificio de derrame PRIME.

1. La presión de inyección comienza a aumentar a causa del movimiento inicial del pistón de combustible y se produce la Inyección en el Cilindro.
2. El émbolo sigue inyectando combustible hasta que la muesca PRIME del plunger se alinea con la lumbrera PRIME del cilindro. El combustible bajo el pistón circula hacia arriba a través de tres agujeros y sale hacia el conducto de suministro de combustible, esta pérdida de combustible disminuye la presión de inyección por debajo de la presión de cierre de la válvula de aguja. La fuerza del resorte vence la fuerza hidráulica de la presión de la inyección piloto, el obturador se cierra y se detiene la inyección. Este es el final de la inyección piloto y el comienzo del corto periodo del retardo de la inyección. Figura 19 y 20.



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 19: Retardo de la inyección.



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 20: Curva de las etapas de inyección.

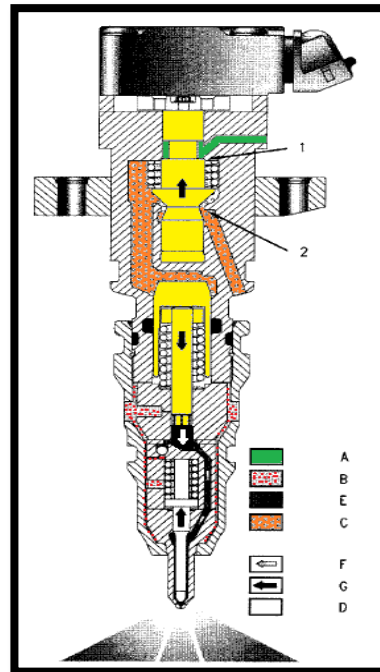
#### d. INYECCIÓN PRINCIPAL.

Como el pistón continua bajando (figura 21), parte del flujo de combustible es nuevamente comprimido, la presión aumentará una vez más, causando la reanudación de la inyección. Cuando la presión atrapada excede la presión de apertura de la válvula de la tobera (VOP), aprox. 31000 kPa (4500 psi), la válvula de aguja se levanta nuevamente, y abastece de combustible las perforaciones de la tobera en la cámara de combustión. Al final de la inyección, la válvula de aguja de la tobera se cierra aproximadamente a 21000 kPa (3000 psi). La inyección continúa hasta que el solenoide es desenergizado, se cierra la válvula poppet y disminuye la presión de aceite.



Partes en funcionamiento de la inyección principal.

- Asiento superior de la válvula poppet cerrada (1).
- Asiento inferior abierto (2).
- Drenaje (A).
- Presión de combustible (B).
- Presión de aceite de accionamiento (C).
- Piezas móviles (D).
- presión de inyección (E).
- flujo de combustible (F).
- movimiento mecánico (G).



Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión.

Figura 21: Inyección principal.

#### e. FINAL DE LA INYECCIÓN.

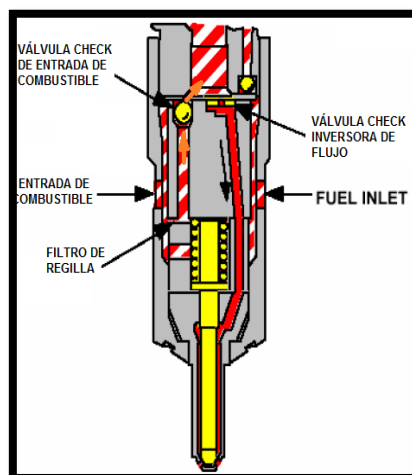
El fin de la inyección es alcanzada al cortar la corriente del ECM al solenoide del inyector. La pérdida de la fuerza magnética en la armadura permite que la fuerza del resorte cambie la posición de la válvula poppet al asiento de escape. “El regreso de la válvula poppet a su asiento en el cuerpo de válvula, bloquea el flujo del suministro hidráulico de aceite al inyector, y simultáneamente se abre el asiento de válvula de escape.”<sup>[2]</sup>

Cuando el inyector drena el aceite, el émbolo del intensificador y el pistón de combustible son empujados hacia arriba por la fuerza de resorte de retorno del Pistón, hasta que el pistón intensificador hace contacto con el cuerpo de válvula.

<sup>[2]</sup><http://es.scribd.com/doc/72681781/Manual-Del-HEUI>

Al realizar la retracción el Pistón de combustible disminuye la presión en la cámara del combustible, esto permite que la válvula de aguja se cierre (VCP) cuando la presión en la válvula de aguja cae debajo de 21000 kPa (3000 psi) finalizando la inyección.

Como el Pistón de combustible continúa la retracción, la presión debajo de Pistón disminuye a la presión de la galería de suministro del combustible. La válvula check de bola del combustible entonces se abre figura 22, permitiendo el paso de combustible por el filtro de la rejilla (próximo recuadro) a la galería de suministro y cargar el inyector para su próximo ciclo de inyección.



Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión

**Figura 22:** Válvula check abierta para paso de combustible a la galería de suministro.

El filtro de rejilla es formado por dos superficies planas paralelas separadas en aproximadamente 130 micras. Estas superficies atrapan las partículas grandes que pueden obstruir los orificios de la tobera.

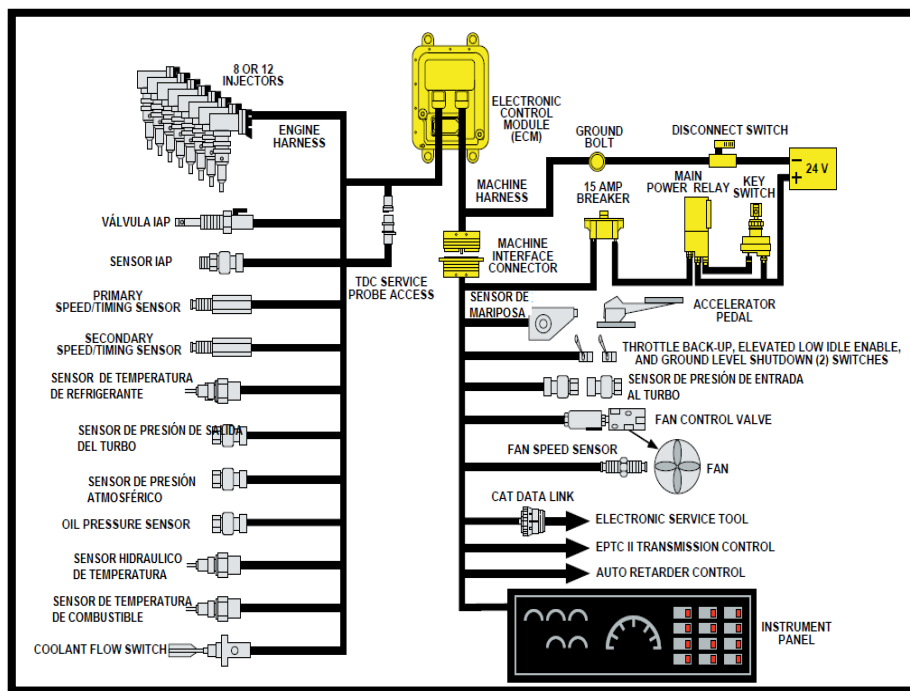
## 2.5. SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO.

El sistema de control electrónico del motor es un conjunto de componentes electrónicos y electromecánicos, que varía continuamente la calibración del motor, para satisfacer los requerimientos de emisiones, economía de combustible y eficiencia del motor.

### 2.5.1. COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA HEUI.

Esta sección de la presentación se explica el Sistema Electrónico de Control con los siguientes componentes:

- a. Módulo de control electrónico.
- b. Módulo impulsor de los inyectores.
- c. Sensores
- d. Actuadores



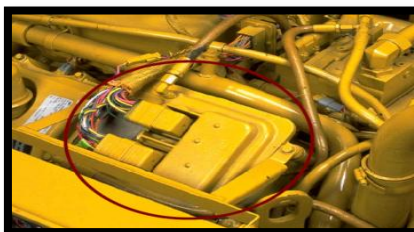
Fuente: Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 23: Componentes del sistema electrónico.

#### a. MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO ECM.

Controla el funcionamiento del motor, posee un voltaje de alimentación de 12 o 24v. Realiza dos funciones principales:

- Proporciona fuerza eléctrica para los componentes electrónicos del motor.
- Recibe, analiza y procesa las entradas de los sensores, y envía señales de voltaje a los actuadores para efectuar ajustes al suministro de combustible, la presión de inyección y la sincronización de la inyección.



Fuente: Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

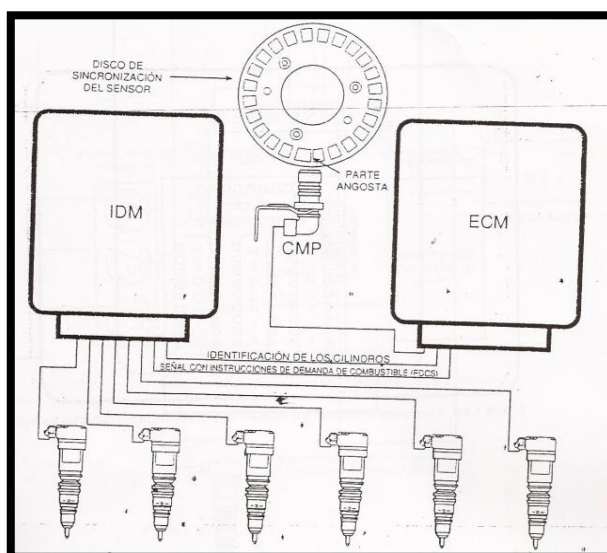
Figura 24: Ubicación del ECM del motor.

**b. MÓDULO IMPULSOR DE LOS INYECTORES IDM.**

El sistema de control de motores incluye el IDM, el cual recibe señales del ECM, para impulsar los inyectores. Funciones:

- **Distribuidor Electrónico de los inyectores.**

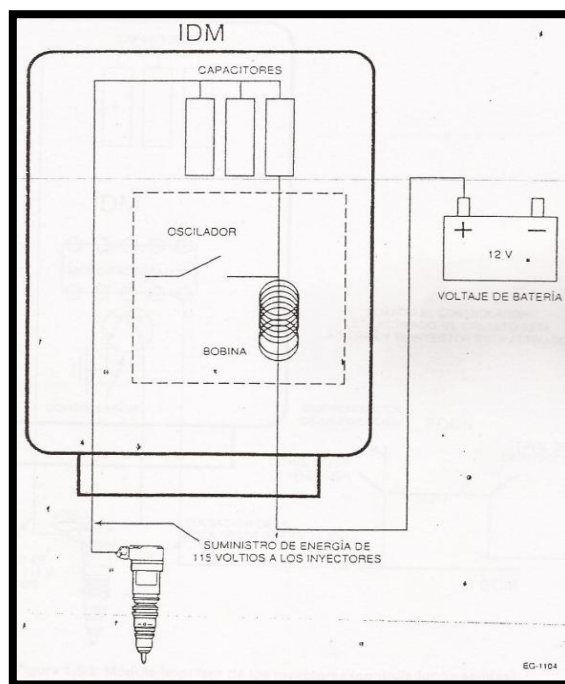
El ECM detecta la posición del cilindro1, mediante la señal de salida del CPM y determina el orden correcto de inyección de los inyectores. La línea de identificación del cilindro (CI) traslada al IDM la identificación del orden de disparo. El IDM recibe del ECM una señal con instrucciones de demanda de combustible (FDCC) para controlar la sincronización del inyector y la cantidad de combustible entregada por cada inyector. Figura 25.



Fuente: Manual de diagnóstico de los motores diesel camiones DT- 466E e International 530E.

Figura 25: IDM como distribuidor.

- **Es la fuente de energía de los inyectores.**- “El IDM suministra más de 115 voltios de CC constantes para su operación, conectando y desconectando un suministro de 12 voltios a través de una bobina interna que sigue el mismo principio empleado en las bobinas automotrices.”<sup>[3]</sup> El voltaje resultante de 115 creado por el campo magnético de la bobina, es almacenado en los capacitores hasta ser usado por los inyectores. Figura 26.



**Fuente:** Manual de diagnóstico de los motores diesel camiones DT- 466E e International 530E.

**Figura 26:** IDM como Fuente de energía.

- **Controlador de las salidas de los inyectores.**

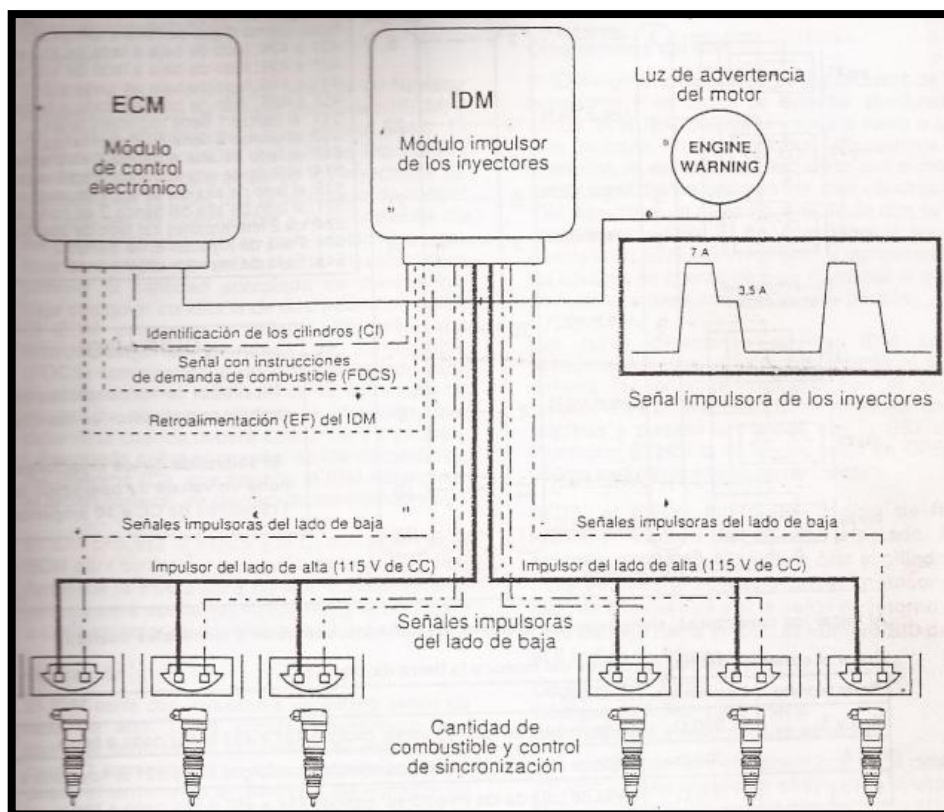
El IDM controla cuando se activan los inyectores y por cuánto tiempo permanecen activados, cerrando el circuito a tierra mediante el uso de transistores del controlador de salidas. El procesador del IDM selecciona la secuencia de disparo y el ECM a través de la FDCS controla la

<sup>[3]</sup> Manual de Diagnóstico de los Motores Diesel para Camiones DT-466E e International© 530E

sincronización de cuando comienza la inyección y el tiempo que permanece abierto el inyector.

### Funciones de las salidas.

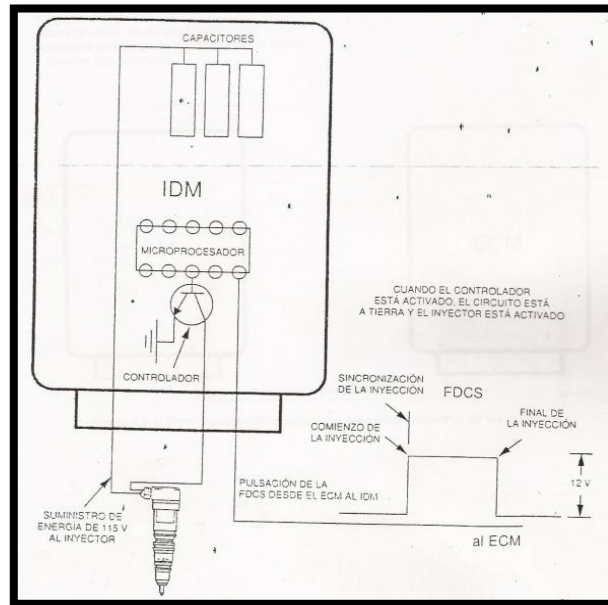
**Salidas del lado de alta de los controladores.** Suministran a los inyectores energía de 115 voltios de c.c. a un máximo de 10 A. Existen 2 controladores, uno para los inyectores delanteros (1, 2, 3) y otro para los tres inyectores traseros (4, 5, 6). Figura 27.



**Fuente:** Manual de diagnóstico de los motores diesel camiones DT- 466E e International 530E.

**Figura 27:** IDM como controlador de salidas de alta.

**Salidas del lado de baja de los controladores.** Su función es controlar el tiempo que permanecen activos los inyectores (cantidad de combustible), la sincronización y el orden de encendido. El IDM controla cada inyector conectando el circuito a tierra del solenoide. Cada inyector tiene un controlador de salidas en el IDM. Figura 28.

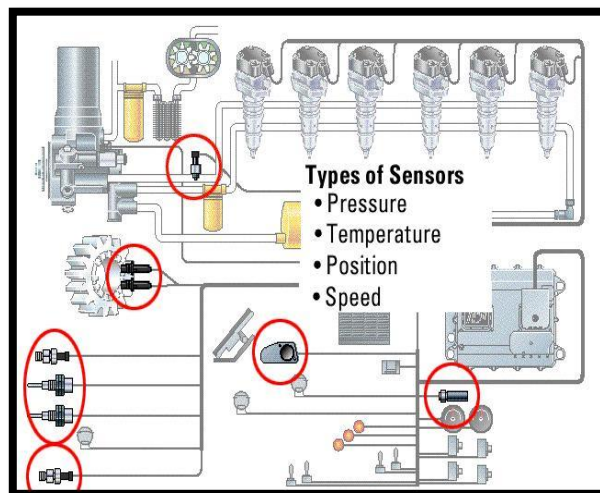


**Fuente:** Manual de diagnóstico de los motores diesel camiones DT- 466E e International 530E.

**Figura 28:** IDM como controlador de salidas de baja.

### c. **SENSORES.**

Los sensores electrónicos monitorean las condiciones de funcionamiento del motor, como temperatura, velocidad, posición, presión y suministran esta información al ECM en forma de señal de voltaje. .



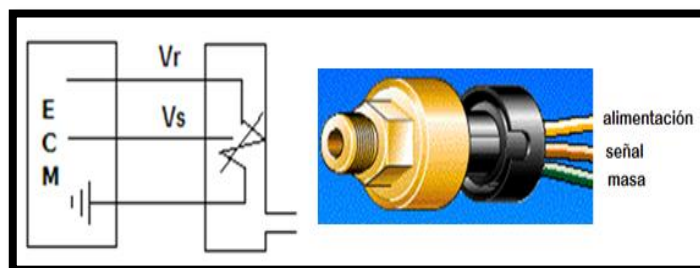
**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-Dir-EUI-HEUI-CATERPILLAR>.

**Figura 29:** Tipos de sensores.

Generalmente trabajan con dos o tres cables. Pueden ser potenciómetros (3 cables) o termistores (2 cables). En resumen los sensores pueden disponer del siguiente número de cables dependiendo del elemento eléctrico que lo constituya. Así:

### **SENSOR DE PRESIÓN.**

Pueden ser potenciómetros (3 cables). Tienen la siguiente utilización, un cable es negativo o de masa, otro cable corresponde a alimentación del sensor y el otro corresponde al voltaje de señal o de información de condición de funcionamiento el cual varía de 0.5 a 4V y es enviado a la computadora para ser procesado.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 30: Sensor de presión 3 cables.

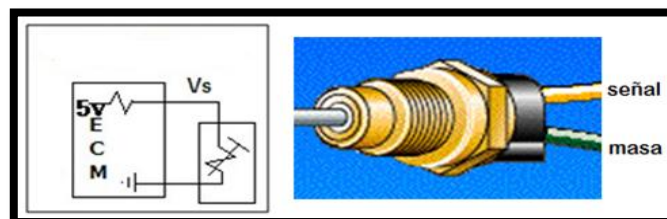
- **Sensor de presión de aceite de Lubricación.-** Genera una alarma de baja presión de aceite para el operador.
- **Sensor de Presión de Aceite Hidráulico (actuación) IAP.-** Lee la presión de actuación actual de bombeo y envía la señal al ECM. Está conectado al tubo de aceite de alta presión que activa los inyectores.
- **Sensor de Presión Atmosférica.-** Se instala en el adaptador Hidráulico del Grupo de Bomba de Suministro y es ventilado a la Atmósfera. Mide la presión Absoluta para el control de la relación aire/combustible.

### **SENSOR DE TEMPERATURA.**



Son termistores o de resistencia variable, comparan su valor con un valor fijo de una resistencia de la computadora (resistor limitador). El termistor junto con el resistor limitador de corriente forma un divisor de voltaje que proporciona una señal de voltaje que indica temperatura. Trabajan normalmente de 0.5 a 4.5 voltios. Para electrónica automotriz se utiliza los NTC o de coeficiente negativo de temperatura es decir disminuyen su resistencia a medida que aumenta la temperatura

Tiene dos conexiones eléctricas: regreso de señal y tierra. La salida de un sensor termistor no es lineal.



Fuente: Grupo de investigación

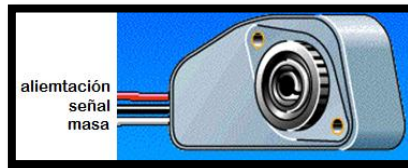
Figura 31: Sensor de temperatura.

- Sensor Hidráulico de temperatura. “Es usado por el ECM para la compensación de la viscosidad y mantener la entrega sólida del combustible a pesar de cambios de viscosidad causados por la variación de la temperatura del aceite.”<sup>[4]</sup>
- Sensor Temperatura del Refrigerante.
- Sensor Temperatura del Combustible. Es usado para la compensación automática de la temperatura del combustible.

### **SENSOR DE POSICIÓN DEL ACELERADOR.**

Monitorea la posición del pedal y convierte esa posición en una señal modulada que es enviada de regreso al ECM. Posee alimentación de 8 voltios.

<sup>[4]</sup> <http://es.scribd.com/doc/72681781/Manual-Del-HEUI>



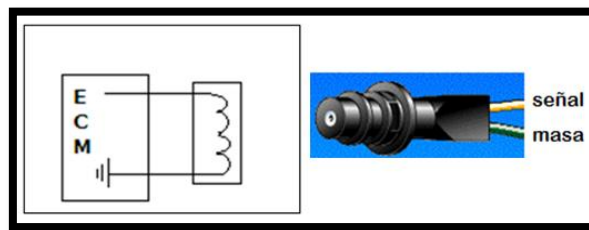
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-DIr-EUI-HEUI-CATERPILLAR>.

Figura 32: Sensor de posición del acelerador.

### SENSORES DE VELOCIDAD / TIEMPO.

Son sensores inductivos que funcionan con alimentación de  $12.5 \pm 1$  voltios. Tienen tres funciones en el sistema:

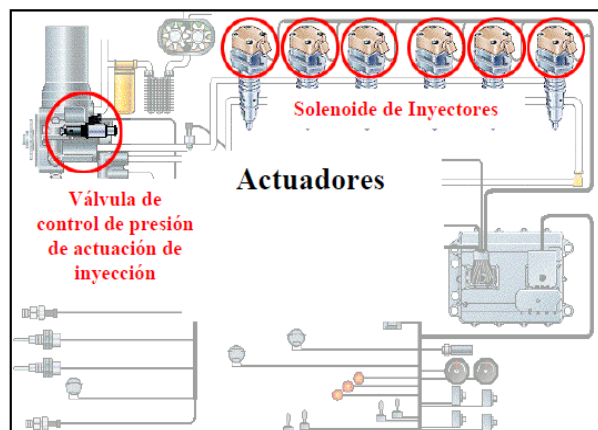
- La medida de la velocidad del motor.
- La relación del orden de encendido del motor.
- Identificación del cilindro n° 1 en TDC y el PMS para todos los cilindros.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 33: Sensores primario y secundario de velocidad.

### d. ACTUADORES.



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-DIr-EUI-HEUI-CATERPILLAR>.

Figura 34: Actuadores inyección HEUI.

Los actuadores usan corriente eléctrica desde el ECM para ejecutar su trabajo y cambiar el funcionamiento del motor:

- Solenoides de los inyectores.
- Válvula IAP.

### Tabla de voltajes de alimentación de los componentes electrónicos.

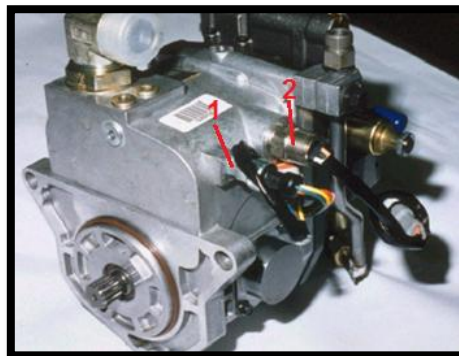
**Tabla No. 2:** Alimentación de voltaje para elementos del control electrónico.

VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS		
No.	UNIDAD	[V]
1	ECM	24
2	Sensores de velocidad tiempo	12.5
3	Alimentación del inyector	115
4	Sensores analógicos (presión y temperatura)	5
5	Sensores Digitales (de posición y válvula ICP)	8
6	Válvula de control de bomba	0 – 24

Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión.

### 2.6. BOMBA HIDRÁULICA.

La bomba hidráulica o bomba de aceite de alta presión, es una bomba de pistones de caudal fijo, que presuriza el aceite lubricante a un máximo de 3100 Psi (21380 KPa), necesarios para el funcionamiento de los inyectores HEUI, esta presión es controlada por el ECM. La bomba produce un flujo de 59 L/min. (15.5 gpm).



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

**Figura 35:** Bomba hidráulica y sus sensores.

La bomba hidráulica tiene un depósito de aceite para la partida en frío; su objetivo es prevenir la cavitación de bomba durante partida inicial del motor, hasta que la bomba de lubricación pueda suministrar el aceite a presión adecuada. El sensor de presión de aceite del sistema de lubricación (1) y el sensor hidráulico de temperatura (2) se localizan en el depósito. En la mayoría de las condiciones de operación, la bomba hidráulica produce un exceso de flujo, el cual es descargado a través de la válvula de control IAP, regulando así la presión del sistema para mantener la presión de accionamiento deseada.

### **2.6.1. TIPOS DE PRESIÓN DE ACCIONAMIENTO.**

#### **a. LA PRESIÓN DE ACCIONAMIENTO DESEADA.**

Es la presión de accionamiento de la inyección, que el sistema necesita para obtener un rendimiento óptimo del motor. Es establecida por los mapas de rendimiento en el ECM.

El ECM selecciona la presión de accionamiento deseada, de acuerdo a las señales de entrada que recibe de muchos sensores como: sensor de posición del pedal acelerador, el sensor de la presión de refuerzo, los sensores de la sincronización de velocidad y el sensor de la temperatura del refrigerante. La presión de accionamiento deseada cambia constantemente debido a los cambios en la velocidad del motor y en la carga del motor, sin embargo es constante en condiciones de estado estables (velocidad y carga del motor estables).

#### **b. LA PRESIÓN REAL DE ACCIONAMIENTO.**

Es la presión real del aceite de accionamiento que está activando a los inyectores. La válvula de control IAP cambia constantemente la cantidad de flujo de la bomba, descargando el aceite hacia el drenaje, para igualar la presión de accionamiento real con la presión de accionamiento deseada.

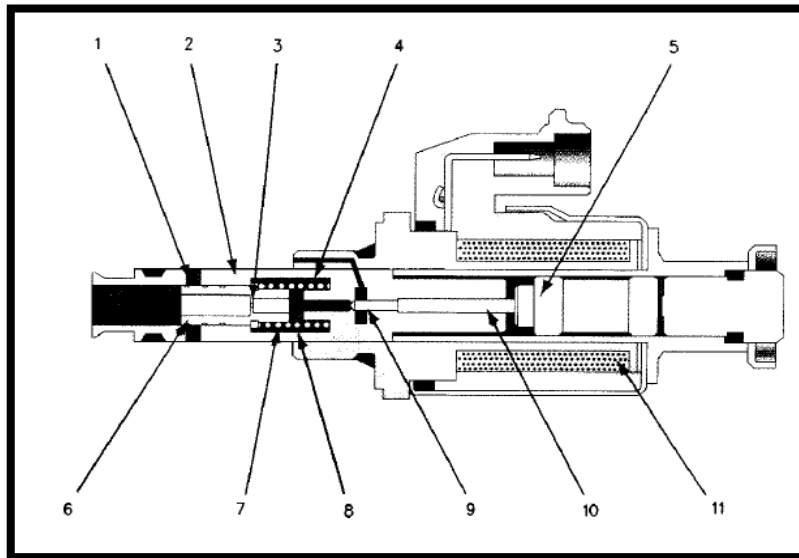
Hay tres componentes que operan unidos para controlar la presión de accionamiento de la inyección:

- El ECM.
- La válvula de control IAP.
- El sensor IAP.

## **2.7. VÁLVULA DE CONTROL DE LA PRESIÓN DE ACCIONAMIENTO DE LA INYECCIÓN Y SENSOR (IAP).**

Descarga el exceso de flujo de la bomba al drenaje, para así controlar la presión de accionamiento de la inyección al nivel deseado. El ECM envía una corriente eléctrica variable a la válvula IAP, para controlar que la presión de accionamiento real sea igual a la presión de accionamiento deseada. La válvula de control IAP permite el control variable de la presión de salida de la bomba entre 870 Psi y 3100 Psi.

- Consta de los siguientes componentes básicos: Lumbreira de drenaje (1)
- Cuerpo de la válvula (2).
- Orificio de control (3).
- Cámara del carrete (4).
- Inducido (5).
- Carrete de válvula (6).
- Resorte del carrete (7).
- Aceite de presión reducida (8).
- Válvula de contrapunta (9).
- Pasador de empuje (10).
- Solenoide (11).



Fuente:Manual Caterpillar motor 3126E para camión

**Figura 36:** Válvula de control de la presión de accionamiento de la inyección.

Funcionamiento.- “El ECM envía una corriente eléctrica variable para crear un campo magnético en el solenoide (11), que actúa sobre un inducido (5) y genera una fuerza mecánica que lo empuja hacia la izquierda.”<sup>[5]</sup> La fuerza mecánica se desplaza a través del pasador de empuje (10) hasta la válvula de contrapunta (9). Figura 36.

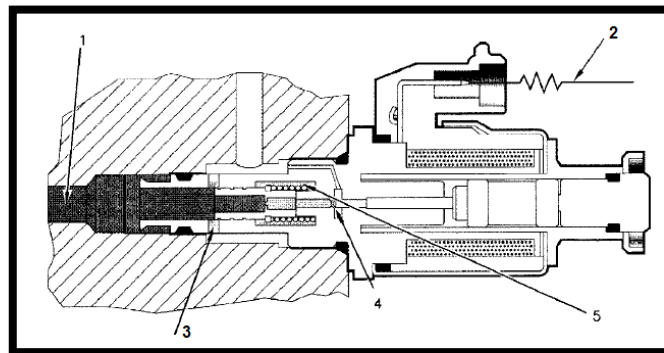
A la fuerza magnética que mantiene cerrada la válvula de contrapunta (9) se opone la presión hidráulica reducida dentro de la cámara del carrete. Esta presión trata de abrir la válvula de contrapunta (9), hasta que vence a la fuerza mecánica del solenoide (11), y la abre, con la válvula de contrapunta abierta, se da paso al drenaje del aceite a presión reducida (8). Al descargar parte del aceite (8) al drenaje, la presión hidráulica se reduce. Figura 37.

**Nota.** Para el arranque del motor, se requiere una presión de accionamiento de la inyección de aproximadamente 6 MPa (870 lb/pulg<sup>2</sup>) para activar el inyector unitario.

<sup>[5]</sup> <http://es.scribd.com/doc/38656736/Pruebas-y-Ajustes-Cat-3126>

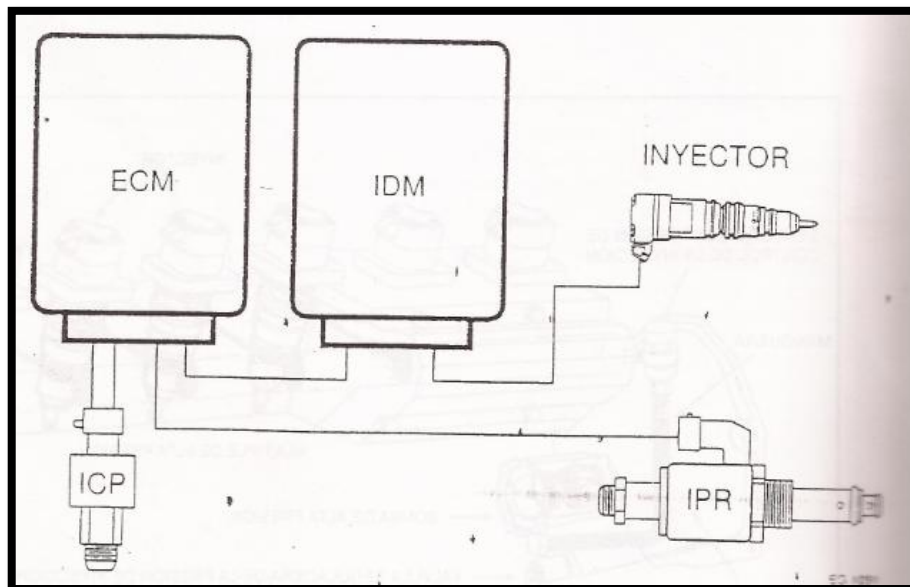
Partes en funcionamiento:

- Presión de salida de la bomba (1).
- Corriente del ECM (2).
- Lumbra de drenaje (abierta) (3).
- Válvula de contrapunta (abierta) (4).
- Aceite de presión reducida (5).



Fuente: Manual Caterpillar motor 3126E para camión

**Figura 37:** Operación de la válvula de control de la presión de accionamiento de la inyección (Motor en funcionamiento).

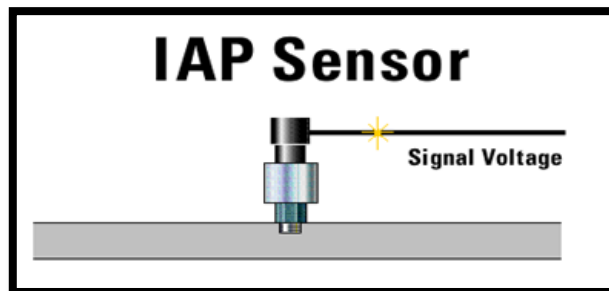


Fuente: Manual de diagnóstico de los motores diesel camiones DT- 466E e International 530E.

**Figura 38:** Gestión electrónica para el funcionamiento de la IPR Y IAP.

## 2.8. SENSOR DE PRESIÓN DE ACTUACIÓN DE INYECCIÓN.

El sensor IAP o ICP vigila la presión real de accionamiento en el conducto del aceite a alta presión. Este sensor informa la presión de accionamiento real al ECM enviando una señal de voltaje. El ECM interpreta el voltaje de la señal procedente del sensor de presión de accionamiento de la inyección para calcular la presión de accionamiento real y la compara con la presión de accionamiento deseada para ajustar la corriente eléctrica a la válvula de control de presión de accionamiento de la inyección.



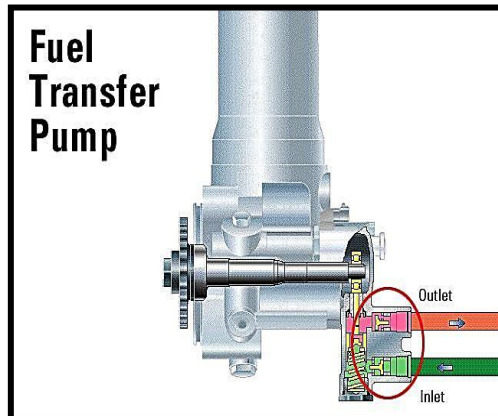
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-Dir-EUI-HEUI-CATERPILLAR>.

**Figura 39:** Sensor IAP.

## 2.9. BOMBA DE TRANSFERENCIA DE COMBUSTIBLE.

Impulsa el combustible del tanque al sistema y lo presuriza a un valor de 415 KPa (60PSi). Posee dos válvulas de retención. La válvula de retención de admisión, que se abre para permitir el ingreso del combustible desde el tanque y se cierra para impedir su regreso. La válvula de retención de salida, proporciona combustible presurizado al conducto de suministro en la culata, quién a su vez suministra combustible a los inyectores. La válvula de retención de la salida se cierra para impedir que el combustible presurizado retorne al tanque. Figura 40. La bomba de transferencia del combustible está montada en la parte trasera de la bomba hidráulica.



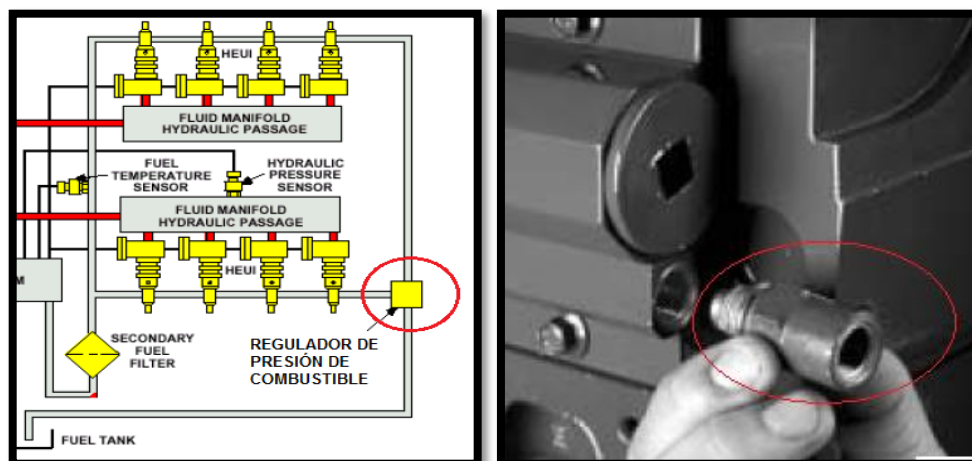


Fuente: <http://es.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-DIe-EUI-HEUI-CATERPILLAR>.

Figura 40: Bomba de transferencia de combustible con válvulas de retención.

## 2.10. EL REGULADOR DE LA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE.

Regula la presión de combustible en un rango 310 a 415 kPa (45 a 60 psi), y el exceso de flujo retorna al tanque (figura 41). La cantidad de combustible para la combustión y el combustible de retorno al tanque, tiene una relación de 1:3 (tres veces más del volumen requerido para la combustión es suministrado al sistema con propósitos de la refrigeración de los inyectores).



Fuente: Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 41: Regulador de presión de combustible.

## **2.11. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN HEUI.**

Tres circuitos de líquidos se incluyen en el funcionamiento del sistema de inyección HEUI:

- Sistema de aceite de baja presión.
- Sistema de aceite de alta presión (hidráulico).
- suministro de combustible de baja presión.

A continuación se muestra los siguientes códigos de color, para la identificación de flujos y presiones.

### **Circuitos Hidráulico y de Lubricación.**

- Rojos - Aceite a alta presión
- Rayas Rojas y Blancas - Aceite reducido de presión
- Verde - Succión de aceite

### **Circuitos de combustible.**

- Rojos - Combustible a alta presión.
- Rayas Rojas y Blancas - Presión de bomba de transferencia de combustible.
- Verde - Succión del Combustible o retorno.

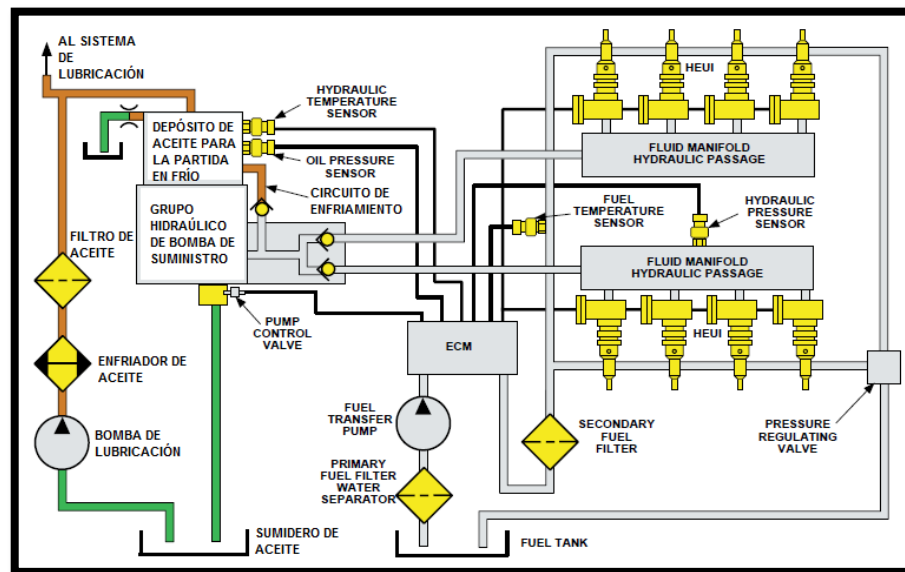
#### **2.11.1. SISTEMA DE ACEITE DE BAJA PRESIÓN.**

Funcionamiento.- La bomba de lubricación aspira aceite desde el cárter del motor aproximadamente a 400 kPa (65 psi) y lo suministra a la galería del aceite para la lubricación del motor y a la bomba hidráulica para propósitos de la Actuación de inyección.

La bomba hidráulica tiene un depósito de aceite para la partida en frío, en el cual se ubican dos sensores; el sensor de presión que monitorea la presión de aceite de lubricación y el sensor de temperatura hidráulica que

es usado por el ECM para la compensación de la viscosidad por la variación de la temperatura del aceite.

Este depósito previene a la bomba hidráulica de la cavitación (aspiraciones en vacío) durante partida inicial del motor hasta que la bomba de lubricación pueda suministrar el aceite a presión adecuada.



Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 42: Sistema de Aceite de baja presión.

### 2.11.2. SISTEMA DE ACEITE DE ALTA PRESIÓN (HIDRÁULICO).

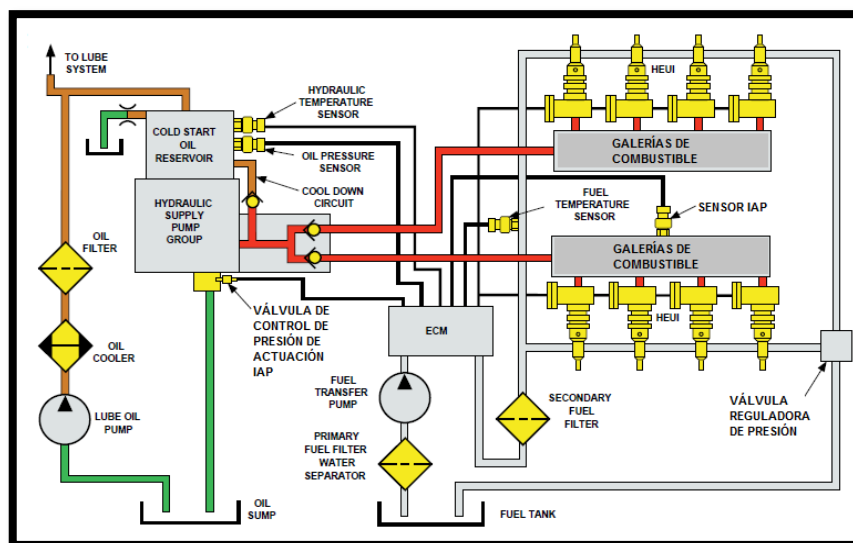
Suministra aceite a alta presión para accionar los inyectores y controla la presión de inyección por medio del cambio de la presión de aceite.

#### Componentes básicos:

- Bomba hidráulica de alta presión
- Sensor IAP
- Válvula IAP
- ECM
- Inyectores

Funcionamiento.- Durante condiciones normales de operación, el aceite se presuriza entre 6000 y 21500 kPa (870 y 3100 psi) por el flujo movido por la bomba hidráulica de alta presión y acciona los inyectores. El nivel de presión hidráulica es controlado por el ECM, con una señal a la válvula de control de presión. Cuando el motor está en funcionamiento, aceite a alta presión está disponible siempre para todos los inyectores.

El aceite de la bomba de alta presión entra a los dos galerías de suministro de aceite. Las válvulas inversoras de flujo son usadas para prevenir golpes de presión entre los pasajes de aceite de los bancos. Los pasajes del suministro del aceite hidráulico son conectados al inyector por tubos puente. El aceite usado por el inyector es drenado al cárter por los conductos internos del motor.



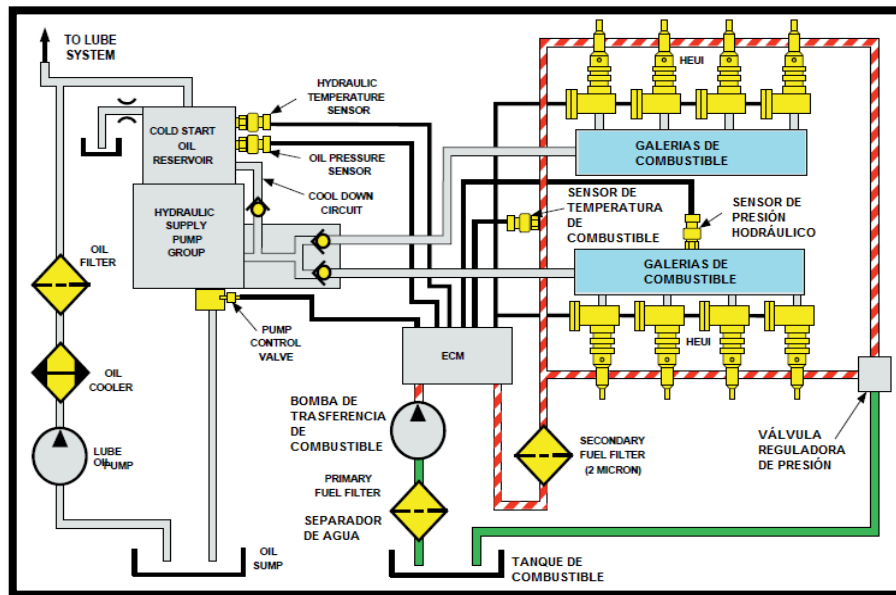
Fuente:Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 43: Sistema de Aceite de alta presión.

### 2.11.3. SISTEMA DE BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE.

Suministra el combustible necesario para el funcionamiento del sistema de inyección. Consta de cinco componentes básicos, que se encuentran al lado izquierdo del motor:

- Depósito de combustible.
- Prefiltro de combustible con separador de agua.
- Filtro de combustible secundario de dos micras.
- Bomba de transferencia de combustible.
- Válvula reguladora de presión de combustible.



Fuente: Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.

Figura 44: Sistema de baja presión de combustible.

Funcionamiento.- El combustible es succionado desde el tanque a través del separador de agua y la bomba de cebado por una bomba de transferencia de engranajes.

El combustible se dirige por el Módulo de Control Electrónico (ECM) para propósitos de refrigeración de este; desde allí fluye por el filtro secundario de combustible. Posteriormente, el combustible entra a la galería de suministro de baja presión, abasteciendo los múltiples encima de las culatas. El exceso de combustible no inyectado sale desde el múltiple. El flujo entonces se combina en una sola línea y pasa por la válvula reguladora de presión, la cual tiene un rango de trabajo entre 310 y 415 kPa (45 y 60 psi). Desde la válvula reguladora de presión, el exceso de flujo retorna al tanque. La cantidad del combustible para la combustión y

el combustible de retorno al tanque está cerca de 1:3 (tres veces más del volumen requerido para la combustión es suministrado al sistema con propósitos de la refrigeración de los inyectores). Un sensor de temperatura del combustible se instala en el sistema de suministro, para compensar las pérdidas de potencia causadas por las variaciones de temperatura del combustible.

## **2.12. ELECTRÓNICA DIGITAL Y PROGRAMABLE.**

Para realizar el sistema de control del presente proyecto, que controle ciertos parámetros como la apertura y cierre de los inyectores, la temperatura del fluido hidráulico, etc., se recurre al uso de la electrónica digital y programable.

¿Qué es Electrónica Programable?

La electrónica programable no es más que una parte de la electrónica que se encarga de resolver y analizar problemas comunes, transformados desde una lógica digital y dar una solución definida por el programador.

### **2.12.1. ARDUINO.**

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de hardware libre o código abierto, formada con una placa y un microcontrolador, con un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en múltiples proyectos. El hardware consta de una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Arduino está basado en Microcontroladores: ATmega8, Atmega168, Atmega328, Atmega1280, Atmega2560. El software consiste en un entorno que implementa el lenguaje de programación Arduino Programming language (Wiring) y el Arduino Development Environment (Processing).

El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh y Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.

a. **ARDUINO 2560.**

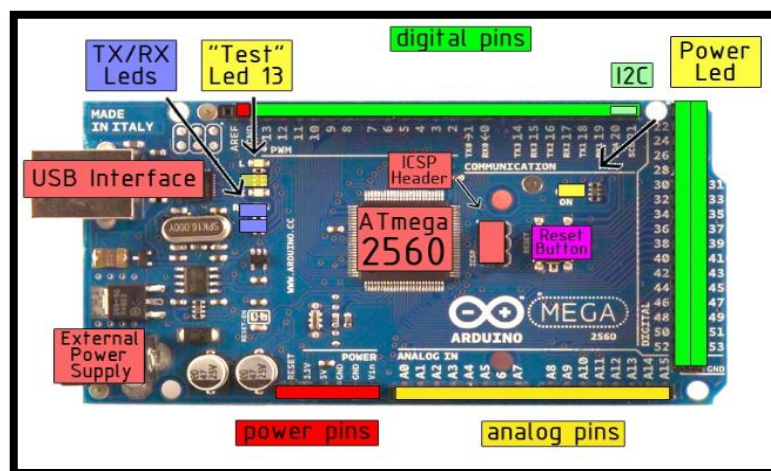
Consta de un microcontrolador 2560. Para utilizarlo, basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA a CC o batería para empezar. La Mega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila

**ESPECIFICACIONES.**

**Tabla No. 3:** Especificaciones Arduino 2560.

Característica	Descripción
Microcontrolador	Atmega 1280/2560
Voltaje Operativo	5
Voltaje de entrada recomendado	7-12V
Voltaje de entrada límite	6 - 20V
Pines de entrada y salida digital	45/ 14 salida PWM
Pines de entrada análoga	16
Intensidad de corriente	40 Ma
Memoria Flash	128KB (4KB reservados para el bootloader)
Sram	8KB
Eeprom	4KB
Frecuencia de reloj	16MHz

Fuente: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>



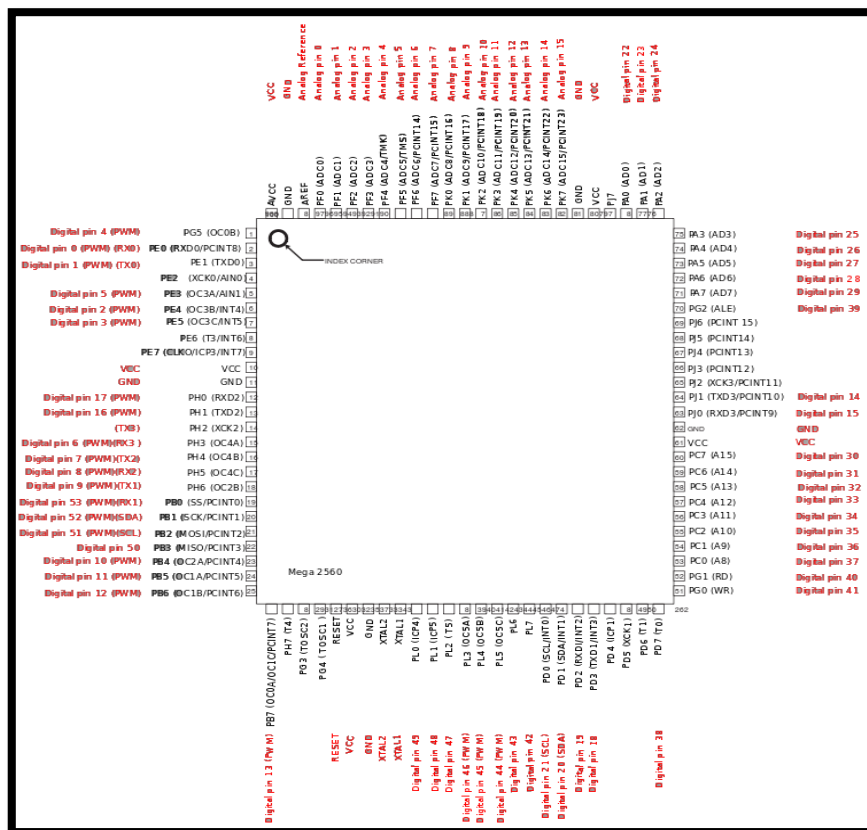
Fuente: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>

**Figura 45:** Arduino 2560.

## ENTRADA Y SALIDA.

“Cada uno de los 54 pins digitales en el arduino Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones pinMode () , digitalWrite () , y digitalRead (). Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna (desconectada por defecto) de 20-50 kΩ.” [6]

“El Mega2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se mide desde el suelo a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin AREF y analogReference () la función.” [7]



Fuente: <http://arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>.

Figura 46: Microcontrolador Atmega 2560

[6] <http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardMega>

[7] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>



## SINTAXIS BÁSICA.

- Delimitadores: ;, {}
- Comentarios: //, /\* \*/
- Cabeceras: #define, #include
- Operadores aritméticos: +, -, \*, /, %
- Asignación: =
- Operadores de comparación: ==, !=, <, >, <=, >=
- Operadores Booleanos: &&, ||, !
- Operadores de acceso a punteros: \*, &
- Operadores de bits: &, |, ^, ~, <<, >>
- Incremento/decremento de variables: ++, --
- Asignación y operación: +=, -=, \*=, /=, &=, |=

## BIBLIOTECAS EN ARDUINO

Para utilizar una biblioteca en la barra de herramientas seleccionar Sketchy hacer clic en el menú "Import Library", escoger una biblioteca y se añadirá el #include correspondiente de acuerdo a la biblioteca seleccionada. Las bibliotecas estándar que ofrece Arduino son las siguientes:

- **SERIAL.-** Lectura y escritura por el puerto serie.
- **EEPROM.-** Lectura y escritura en el almacenamiento permanente.  
read(), write()
- **FIRMATA.-** Comunicación con aplicaciones de ordenador utilizando el protocolo estándar del puerto serie.
- **LIQUIDCRYSTAL.-** Permite realizar la programación y elControl de LCDs.La biblioteca soporta los modos de 4 y 8 bits.
- **SOFTWARESERIAL.-**Por defecto Arduino incluye comunicación sólo en los pines digitales 0 y 1, mediante esta biblioteca se realiza la comunicación con el resto de pines.
- **WIRE.-** Envío y recepción de datos sobre una red de dispositivos o sensores mediante Two Wire Interface (TWI/I2C).

## b. MOSFET.

Es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas y es el más utilizado en el mundo, está presente en prácticamente todos los dispositivos electrónicos, gracias a sus características de tamaño, facilidad de uso y bajo consumo de energía, ya sea en circuitos analógicos o digitales. Son dispositivos controlados por voltaje.

### MOSFET DE POTENCIA IRFP460.

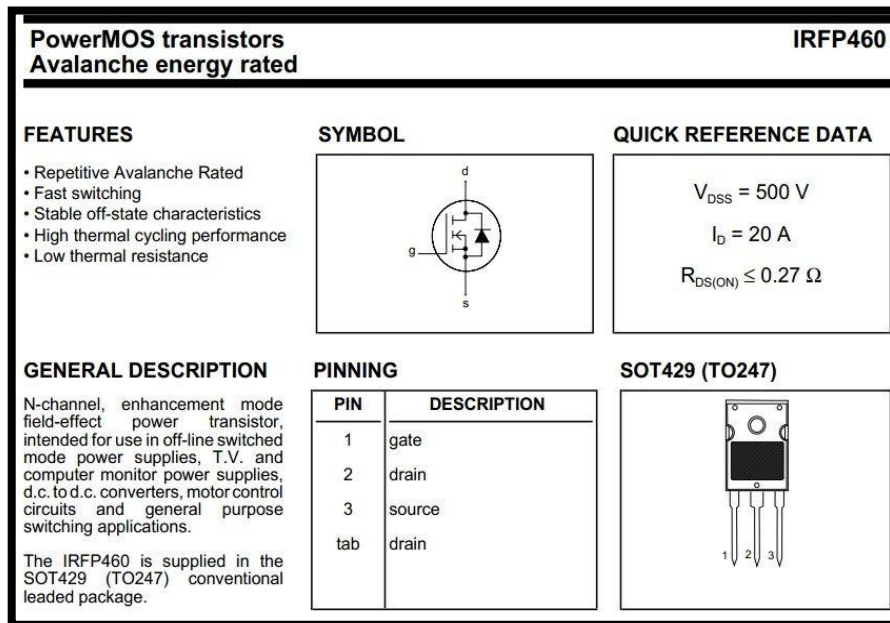
Comparten las mismas características de sus hermanos pequeños, ya que permiten conmutaciones muy veloces y un bajo consumo de energía, con la capacidad de manejar grandes tensiones y corrientes.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 47: Mosfet de potencia IRFP460 para la aplicación.

Existen dos tipos básicos de MOSFET: de canal n, de canal p. En Electrónica de Potencia los más utilizados son los primeros, por presentar menores pérdidas y mayor velocidad de conmutación, debido a la mayor movilidad de los electrones con relación a los agujeros. Tienen tres terminales denominados fuente(source), compuerta(gate) y drenador (drain).



Fuente: Grupo de investigación

Figura 48: Características Mosfet de potencia IRFP460.

### c. OPTOACOPLADOR.

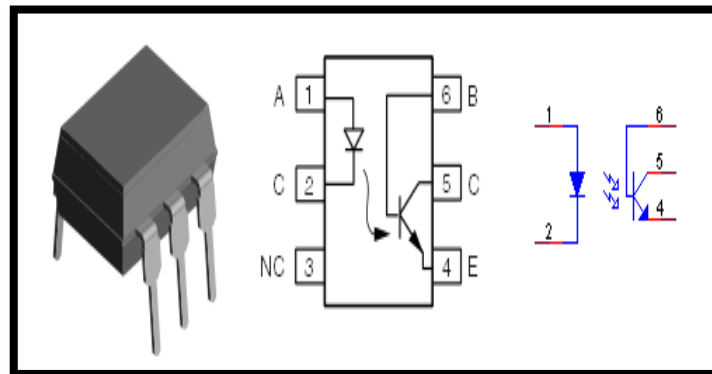
Una gran variedad de sistemas digitales controlan otros sistemas o son interconectados a una etapa de potencia. La manipulación de altas corrientes implica tener consideraciones de seguridad eléctrica para los operarios y el sistema digital. Por tal razón es deseable que las etapas digitales y potencia se realicen por medio de un acoplamiento que permite aislar eléctricamente a los sistemas.

El optoacoplador permite realizar un acoplamiento óptimo y un aislamiento eléctrico del sistema digital y de potencia. Cuando se produce un corto en la etapa de potencia o alguna anomalía eléctrica, el optoacoplador protege los circuitos digitales de control.

El acoplamiento se efectúa en el rango del espectro infra rojo a partir de dispositivos emisores de luz y dispositivos detectores de luz actuando como receptores.

### Optoacoplador fototransistor.

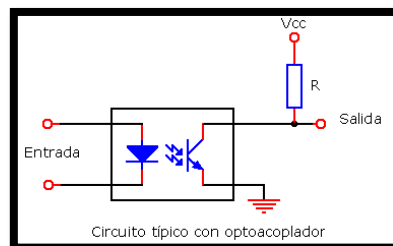
Se compone de un optoacoplador con una etapa de salida formada por un transistor BJT. Los más comunes son 4n25 y 4n35.



Fuente: <http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>

Figura 49: Optoacoplador fototransistor 4n25.

### Circuito básico con optoacoplador.



Fuente: <http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>

Figura 50: circuito básico optoacoplador 4n25.

### d. LM35.

“El **LM35** es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C. Su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV, por lo tanto:”<sup>[8]</sup>

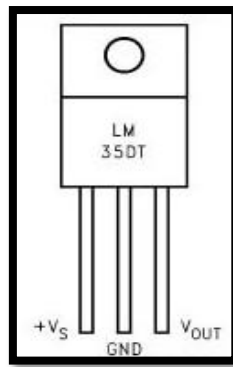
$$150^{\circ}\text{C} = 1500\text{mV}$$

$$-40^{\circ}\text{C} = -400\text{mV}$$

<sup>[8]</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/LM35>

## Características

- Esta calibrado directamente en grados Celsius.
- La tensión de salida es proporcional a la temperatura.
- Tiene una precisión garantizada de 0.5°C a 25°C.
- Opera entre 4 y 30 volts de alimentación.
- Baja impedancia de salida.
- Baja corriente de alimentación (60uA).
- Bajo costo.



**Fuente:** <http://electronica.webcindario.com/componentes/lm35.htm>

**Figura 51:** LM35.

**CAPÍTULO III**  
**PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

### **3. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

#### **3.1. HIPÓTESIS.**

##### **3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL.**

- Implementación de un sistema de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyector diesel electrónicos H.E.U.I, que permita a los estudiantes conocer el uso y manejo de los nuevos sistemas de inyección aplicados en maquinaria y equipo pesado.

##### **3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.**

- Los profesionales del área automotriz deben disponer de conocimientos sobre sistemas de inyección equipados con inyectores HEUI, a fin de realizar pruebas de operación, diagnóstico y mantenimiento de los mismos.
- Determinar los parámetros de funcionamiento normal del inyector HEUI, para detectar posibles fallas de operación.
- Interpretación adecuada de la información obtenida a través de diferentes fuentes bibliográficas, para el diseño y construcción del banco de pruebas de inyectores HEUI.
- Visitar casas comerciales y centros de reparación de maquinaria pesada, en la búsqueda de los elementos necesarios para la ejecución del proyecto.

### 3.2. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 3.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

Funcionamiento y componentes del sistema de inyección HEUI, utilizados en maquinaria y equipo pesado.

#### 3.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Implementación de un Sistema de Simulación, Diagnóstico y Comprobación de sistemas de alimentación de combustible para Inyector Diesel Electrónicos H.E.U.I.

#### 3.2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

##### a. VARIABLE INDEPENDIENTE.

**Tabla No. 4:**Operacionalización de variables Independientes.

VARIABLE INDEPENDIENTE	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Funcionamiento y componentes del sistema de inyección HEUI, utilizados en maquinaria y equipo pesado.	Académica	Sistema de inyección HEUI.	¿Qué es y cuáles el número de componentes que dispone el sistema de inyección de combustible diesel para la ejecución del banco de pruebas para inyectores HEUI?
		Componentes del sistema de inyección de alimentación de combustible HEUI $\geq 6$	
	Técnica	Control electrónico del sistema de inyección HEUI = 1.	¿Cuál es el número de sensores y actuadores que dispone el sistema de inyección HEUI para realizar el control electrónico.  ¿Cuál es el número de actuadores que dispone el sistema de inyección HEUI para realizar el control electrónico?
		Sensores que aplica al sistema de control electrónico.	
		Actuadores que aplica al sistema de control electrónico.	

**Fuente:** Grupo de Investigación.



**b. VARIABLE DEPENDIENTE.**

**Tabla No. 5:**Operacionalización de variables dependientes.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>PREGUNTAS</b>
Implementación de un sistema de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyector diesel electrónicos H.E.U.I.	Académica	Selección de los componentes para el diseño del banco de pruebas de inyectores HEUI.	¿Cumplen con las especificaciones técnicas los elementos seleccionados para la ejecución del banco de pruebas del inyector HEUI?
	Técnica	Diseño mecánico y electrónico del banco de simulación, diagnóstico y comprobación de inyectores.  Procedimientos para la realización de las pruebas prácticas en los inyectores HEUI.	¿Qué herramientas de diseño y construcción se utilizarán para la ejecución del proyecto?  ¿Cuáles son los parámetros de funcionamiento del sistema de inyección HEUI, para la localización de fallas de los inyectores y utilización del banco de simulación?

**Fuente:** Grupo de Investigación.

**CAPÍTULO IV**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

## **4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

En cuanto al diseño de investigación; es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado o comprobar la hipótesis de investigación. La investigación se clasifica en: documental de campo y experimental.

El diseño de investigación que utiliza es la experimental; la cual consiste en someter diversos objetos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

Basado en los objetivos e interrogantes planteadas, el presente proyecto se sustenta en el diseño experimental, donde el investigador no solo identifica las características que se estudian; sino que las controla, las altera o manipula con el fin de observar los resultados al tiempo que procura evitar que otros factores intervengan en la observación.

La investigación experimental sigue las siguientes etapas:

- Delimitar y definir el objeto de la investigación o problema, señalando las variables independientes, las dependientes.
- Plantear una hipótesis de trabajo, estas ideas deben estar suficientemente claras para adelantar un resultado tentativo de cómo puede ocurrir dicho fenómeno.
- Elaborar el diseño experimental, mediante los siguientes pasos: determinar todos los componentes utilizados en el banco de pruebas, ensamblar los componentes, realizar un experimento de prueba de operación e interpretar tentativamente los resultados iniciales y comprobar la precisión, modificando de ser necesario el procedimiento y/o equipo utilizado.

- Realizar el experimento final para detectar cualquier anomalía, su desarrollo proporcionará solución al problema previamente planteado.
- Analizar los resultados alcanzados, deben contestar las preguntas planteadas por el problema.
- Formular conclusiones, mediante los resultados obtenidos de la ejecución del experimento y aplicar el criterio científico para aceptar o rechazar la hipótesis.
- Elaborar un informe por escrito.

#### **4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

La población o universo de estudio, es la totalidad de elementos a investigar respecto a ciertas características

La investigación se sustentó en observaciones de procesos metodológicos a docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, así también observaciones del proceso de aprendizaje a los estudiantes de las materias de Reparación Diesel, para lo cual, se utilizó el muestreo por estratos.

Muestra por estrato consiste en dividir al universo de estudio en estratos, zonas o grupos homogéneos, para luego tomar la muestra.

La presente investigación estuvo constituida por dos grupos de observación

- a) 39 alumnos que cursan la materia de Reparación Diesel.
- b) 14 docentes del Área.

**Fuente:** Secretaria 2012

El grupo de estudiantes a considerar son quienes cursan la materia de reparación diesel, debido a que en ésta asignatura se estudia los sistemas de inyección con inyectores electrónicos o H.E.U.I. Para el grupo se aplicó una muestra por estrato de 35 estudiantes, mientras que a la

población de docentes por ser una población pequeña se consideró a toda la población, a quienes se les aplicó el instrumento.

La ratificación del tamaño de la muestra, se basa en un modelo de cálculo presentado a continuación, el que toma en cuenta nuestro universo o tamaño de la población "Finita" (se conoce su tamaño), se determinará la muestra en base a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}$$

**Ecuación 1:** Tamaño Muestral.

**Tabla No. 6:** Descripción de variables para muestra finita con datos tomados.

<b>N</b>	Tamaño muestral
<b>N</b>	Tamaño de la población.
<b>Z<math>\alpha</math></b>	Nivel de confianza prefijado. Para una seguridad del 95% = 1.96
<b>P</b>	Proporción esperada del parámetro a evaluar (en este caso 0.5 = 0.5)
<b>Q</b>	1-p (en este caso 1-0.5 = 0.5)
<b>D</b>	Error muestral deseado (en este caso Deseamos un 5%)

**Fuente:** <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras.asp>.

$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}$
$n = \frac{39 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2 \times (39 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$
35.4894
35
Se realizará 35 encuestas con el fin de obtener resultados confiables.

#### **4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

El método de recolección de datos es el medio a través del cual el investigador se relaciona con los participantes para obtener la información necesaria que le permita lograr los objetivos de la investigación. De modo que para recolectar la información hay que tener presente lo siguiente:

- Seleccionar un instrumento de medición el cual debe ser válido y confiable para poder aceptar los resultados.
- Aplicar dicho instrumento de medición.
- Organizar las informaciones obtenidas para poder analizarlas.

Con estos antecedentes se procedió a la búsqueda de la información mediante la aplicación de encuestas.

La encuesta es una técnica de investigación que nos permite acceder a una información, aplicando un cuestionario a las personas que tienen conocimientos sobre un tema o problema a investigar y se la puede utilizar en una población determinada o por muestreo.

#### **4.4. DISEÑO DE ENCUESTAS PARA GENERACIÓN DE INFORMACIÓN.**

La encuesta diseñada con la que pretendemos obtener información relevante para el desarrollo del presente proyecto, contiene preguntas sencillas y de fácil comprensión.

A continuación se presenta el formulario para el desarrollo de la encuesta que se deberá aplicarse a los talleres de servicio pesado y laboratorios diesel.

ENCUESTA DIRIGIDA PARA LOS ESTUDINANTES DE LOS ÚLTIMOS  
NIVELES

Reciba un cordial saludo por parte de los alumnos del X Nivel de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Nuestro objetivo es diagnosticar falencias en el aprendizaje del sistema de alimentación diesel con inyectores HEUI dentro de los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPEL.

Por favor lea detenidamente cada una de las preguntas y responda con la mayor sinceridad posible.

1. ¿Conoce usted los sistemas de inyección diesel usados en maquinaria y equipo pesado, los cuales son temas de estudio dentro de la materia de Reparación Diesel?
  - a. Común Riel
  - b. Unidad Inyectora Electrónica (EUI)
  - c. Bomba Rotativa
  - d. Bomba en línea
  
2. ¿En qué porcentaje considera usted, que el laboratorio de reparación diesel, está equipado con dispositivos de diagnóstico para el estudio de los sistemas de inyección diesel de la actualidad?
  - a. 25%
  - b. 50%
  - c. 75%
  - d. 100%
  
3. ¿Con qué frecuencia asiste usted a centros de laboratorio diesel para evidenciar y comprobar las diferentes pruebas que se realizan a los sistemas de inyección?
  - a. Siempre
  - b. Casi Siempre
  - c. Rara vez
  - d. Nunca
  
4. ¿Ha escuchado hablar acerca del sistema de inyección de combustible controlado electrónicamente y actuado hidráulicamente o HEUI, el cual supera muchas de las limitaciones de los inyectores convencionales con accionamiento mecánico?

Si  No
  
5. ¿Dispone el laboratorio diesel de la Carrera de Ingeniería Automotriz los recursos necesarios y adecuados, para un aprendizaje significativo del

sistema de alimentación para inyectores HEUI, el cual es motivo de estudio en la malla curricular?

Si  No

6. ¿Cree necesario que los conocimientos adquiridos en las aulas, deben complementarse con el uso de bancos de pruebas apropiados mediante clases prácticas?

- a. Diario
- b. 1 vez a la semana
- c. 2-4 veces al mes
- d. 1 vez al semestre

7. ¿Conoce usted, si la carrera de ingeniería automotriz dispone de personal con alto conocimiento y dominio en pruebas de inyección, entre estas HEUI?

Si  No

8. ¿Considera usted que, es necesario disponer de bancos de simulación y diagnóstico para inyectores usados en maquinaria y equipo pesado tales como HEUI, con el fin de facilitar el aprendizaje de este sistema de inyección?

- a. Siempre
- b. Casi Siempre
- c. Rara vez
- d. Nunca

9. ¿En qué porcentaje considera usted, que la implementación de nuevos bancos de pruebas de inyección entre estos el sistema HEUI, mejorará la enseñanza de este sistema de inyección?

- e. 25%
- f. 50%
- g. 75%
- h. 100%

10. ¿Recomienda usted, la implementación del banco de pruebas de inyectores HEUI para el laboratorio de Reparación Diesel?

Si  No

#### 4.5. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.



Un instrumento de recolección es válido cuando mide de alguna manera demostrable aquello que trata de medir, libre de distorsiones matemáticas. El instrumento tiene una confiabilidad del 95% y se realizó con el aval de cuatro expertos, a quienes se les consultó sobre el tema DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.:

- Ing. Jorge Ron. Docente Escuela Politécnica Nacional.
- Ing. Renato Arboleda. Diseño de circuitos electrónicos en APM.
- Ing. Gerardo De la Torre. Diseño de circuitos hidráulicos y neumáticos en Neumac S.A.
- Ing. Carlos Espinoza. Departamento Técnico ADECO Ltda.

Los especialistas en el dominio del tema, analizaron lo siguiente:

- La correspondencia de las preguntas del instrumento con los objetivos, variables e indicadores.
- La calidad técnica y el lenguaje
- La factibilidad para la realización del proyecto.

Las observaciones realizadas por los expertos fueron incorporadas en la elaboración del instrumento definitivo. Los resultados fueron tabulados con la ayuda de programa Microsoft Excel, cuyo resultado determinó la necesidad de contar con un banco de pruebas para inyectores H.E.U.I. y mejorar la enseñanza de este tema en los futuros profesionales.

#### **4.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

#### 4.6.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Los resultados obtenidos de la encuesta, fueron tratados estadísticamente, cuantificados y tabulados; se procedió a elaborar los gráficos estadísticos, los mismos que fueron analizados para inferir las correspondientes interpretaciones orientadas a dar respuestas a los objetivos de la investigación.

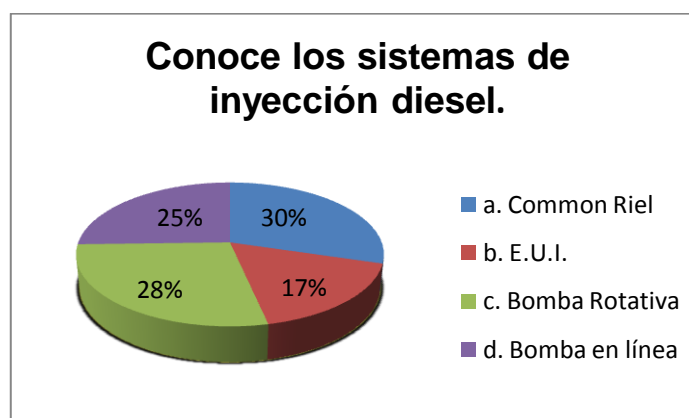
#### CUADRO No. 1

¿Conoce usted los sistemas de inyección diesel usados en maquinaria y equipo pesado, los cuales son temas de estudio dentro de la materia de Reparación Diesel?

Tabla No. 7: Tabulación pregunta 1

Conoce los sistemas de inyección diesel.			
No1.	Sistema	Alumnos	Porcentaje
a.	Common Riel	35	30
b.	E.U.I.	20	17
c.	Bomba Rotativa	33	28
d.	Bomba en línea	30	25
TOTAL			100

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 52: Pregunta 1.

### **Análisis e interpretación.**

El 30% de los encuestados conoce el sistema de inyección Riel común, el 17% E.U.I., el 28% con bomba rotativa, y el 25% con bomba en línea. Se deduce que todos los alumnos conocen la mayoría de sistemas de inyección diesel.

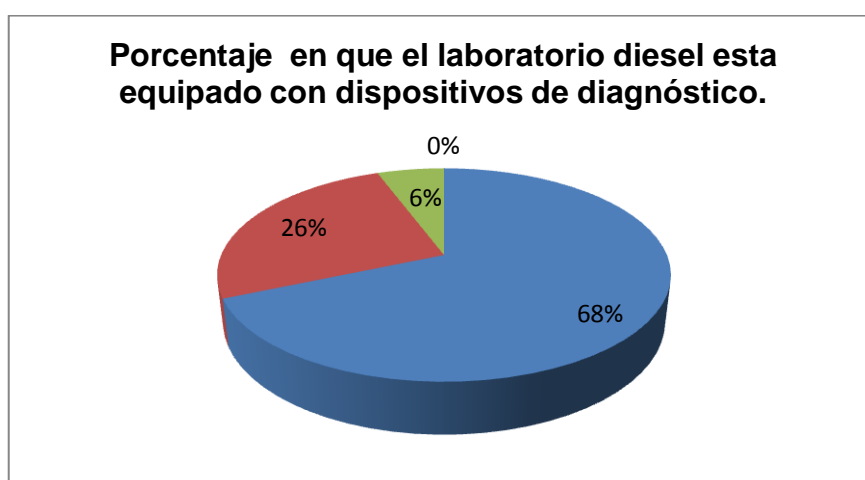
### **CUADRO No. 2**

¿En qué porcentaje considera usted, que el laboratorio de reparación diesel, está equipado con dispositivos de diagnóstico para el estudio de los sistemas de inyección diesel de la actualidad?

**Tabla No. 8:** Tabulación pregunta 2.

<b>Porcentaje en que el laboratorio diesel está equipado con dispositivos de diagnóstico</b>			
<b>No1.</b>	<b>Sistema</b>	<b>Alumnos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>a</b>	25%	24	68%
<b>b</b>	50%	9	26%
<b>c</b>	75%	2	6%
<b>d</b>	100%	0	0%
TOTAL			100%

**Fuente.** Grupo de investigación



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 53:** Pregunta 2.

### Análisis e interpretación.

El 68% de los encuestados, cree que le laboratorio diesel está equipado sólo en un 25%.

Se deduce que el laboratorio diesel, no cuenta con suficientes equipos de prueba para inyectores diesel.

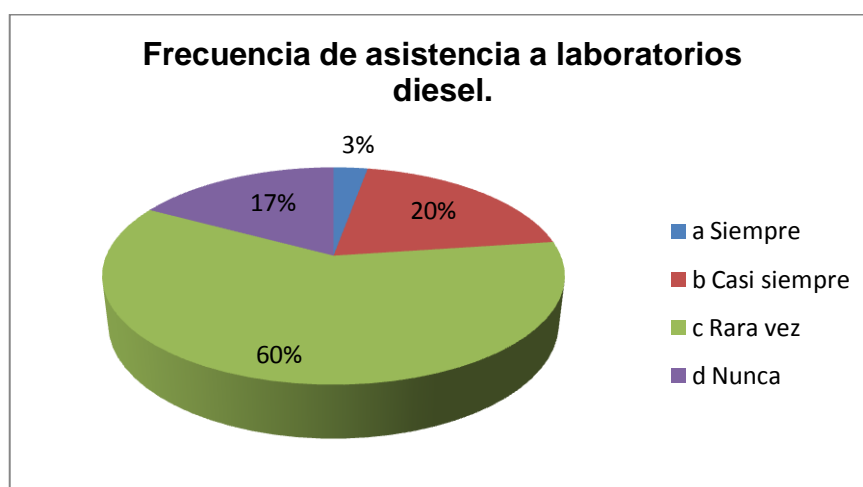
### CUADRO No. 3

¿Con qué frecuencia asiste usted a centros de laboratorio diesel para evidenciar y comprobar las diferentes pruebas que se realizan a los sistemas de inyección?

Tabla No 9: Tabulación pregunta 3.

Frecuencia de asistencia a laboratorios diesel			
No1.	Frecuencia	Alumnos	Porcentaje
A	Siempre	1	68%
B	Casi siempre	7	26%
C	Rara vez	21	6%
D	Nunca	6	0%
TOTAL			100%

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 54: Pregunta 3.

## Análisis e interpretación.

Aproximadamente el 60% de los estudiantes no tiene acceso a laboratorios de reparación diesel. Se evidencia y se concluye el difícil acceso a estos centros de reparación.

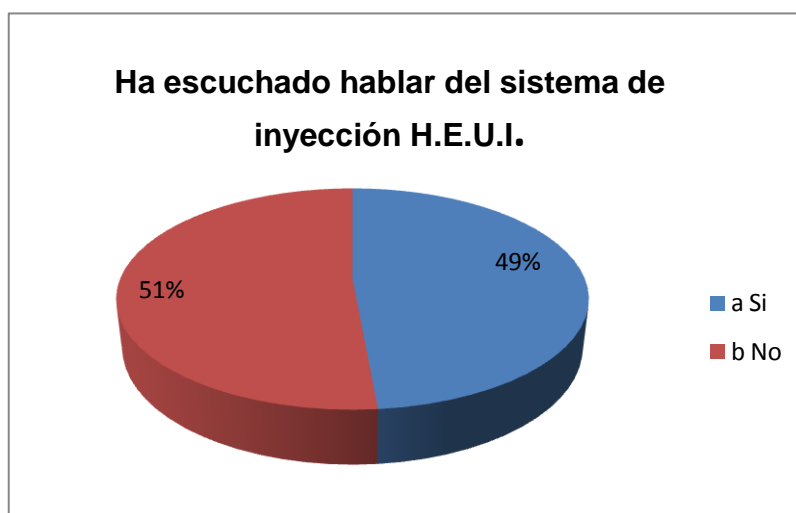
### CUADRO No. 4

Ha escuchado hablar acerca del sistema de inyección de combustible controlado electrónicamente y actuado hidráulicamente o HEUI, el cual supera muchas de las limitaciones de los inyectores convencionales con accionamiento mecánico.

Tabla No. 10. Tabulación pregunta 4.

Ha escuchado hablar del sistema de inyección H.E.U.I.			
No1.	Conocimiento	Alumnos	Porcentaje
A	Si	17	49%
B	No	18	51%
Total			100%

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 55: Pregunta 4.

### **Análisis e interpretación.**

Se deduce que el 51% de los alumnos encuestados, no conocen el funcionamiento del sistema de alimentación con inyectores H.E.U.I. ni sus aplicaciones en maquinaria y equipo pesado.

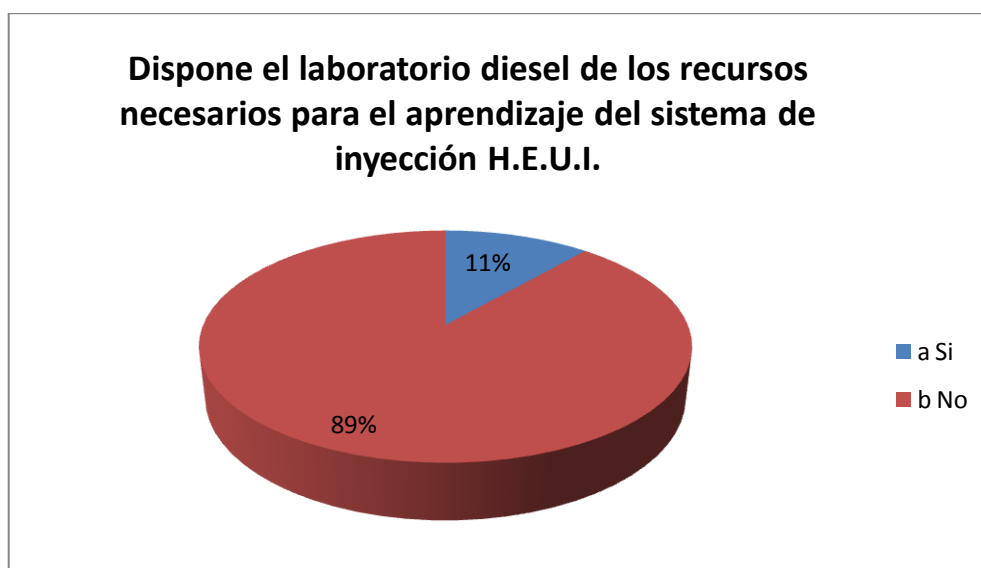
### **CUADRO No. 5**

Dispone el laboratorio diesel de la Carrera de Ingeniería Automotriz los recursos necesarios y adecuados, para un aprendizaje significativo del sistema de alimentación para inyectores HEUI, el cual es motivo de estudio en la malla curricular.

**Tabla No: 11.** Tabulación pregunta 5.

<b>Dispone el laboratorio diesel de los recursos necesarios para el aprendizaje del sistema de inyección H.E.U.I.</b>			
<b>No1.</b>	<b>Conocimiento</b>	<b>Alumnos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A</b>	Si	4	11%
<b>B</b>	No	31	89%
Total			100%

**Fuente:** Grupo de investigación.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 56:** Pregunta 5.

### **Análisis e interpretación.**

El 89% de los alumnos encuestados, concuerda que el laboratorio diesel, no cuenta con los recursos necesarios para un aprendizaje significativo del sistema de alimentación con inyectores H.E.U.I.

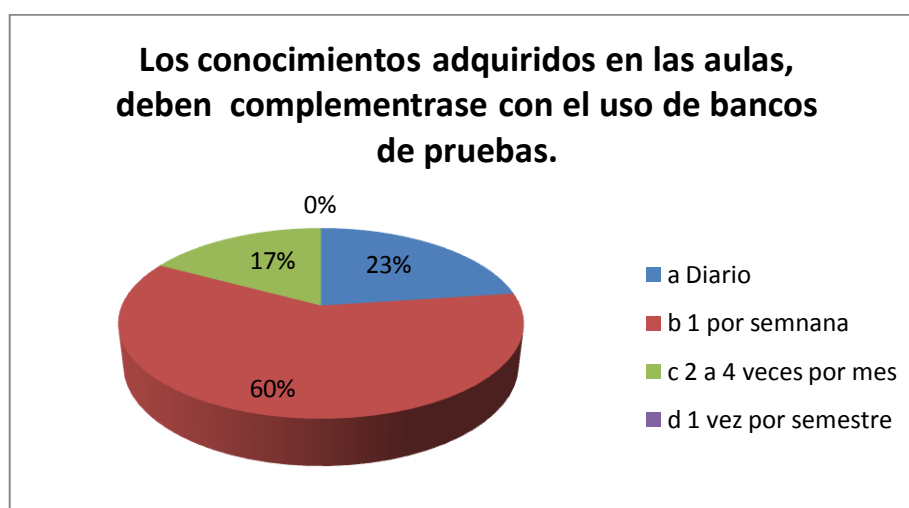
### **CUADRO No. 6**

Cree necesario que los conocimientos adquiridos en las aulas, deben complementarse con el uso de bancos de pruebas apropiados mediante clases prácticas.

**Tabla No.12:** Tabulación pregunta 6.

<b>Los conocimientos adquiridos en las aulas, deben complementarse con el uso de bancos de pruebas.</b>			
<b>No1.</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Alumnos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>a</b>	Diario	8	68%
<b>b</b>	1 por semana	21	26%
<b>c</b>	2 a 4 veces por mes	6	6%
<b>d</b>	1 vez por semestre	0	0%
<b>TOTAL</b>			<b>100%</b>

**Fuente:** Grupo de investigación.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 57:** Pregunta 6.

### **Análisis de resultados.**

El 68% de los encuestados concluye, que es indispensable que las clases impartidas teóricamente se complementen mediante clases prácticas diariamente.

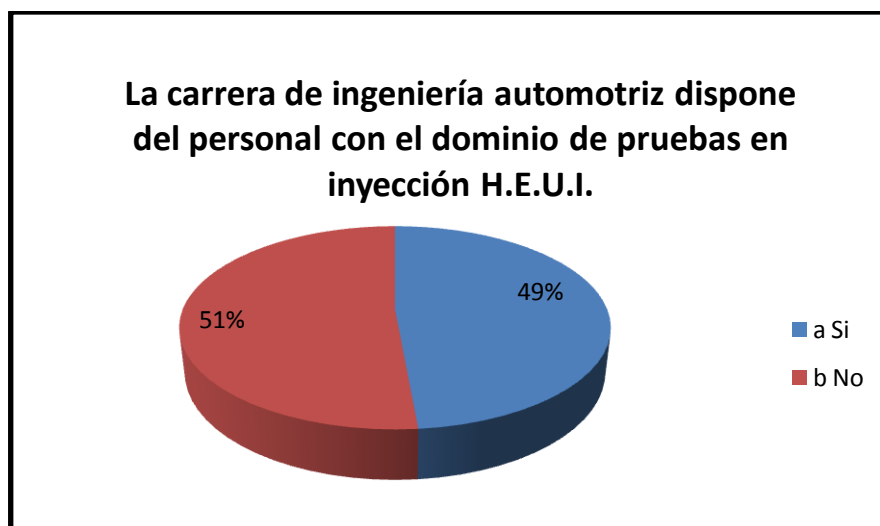
### **CUADRO No. 7**

¿Conoce usted, si la carrera de ingeniería automotriz dispone de personal con alto conocimiento y dominio en pruebas de inyección, entre estas HEUI?

**Tabla No. 13:** Tabulación pregunta 7.

<b>La carrera de ingeniería automotriz dispone del personal con el dominio de pruebas en inyección H.E.U.I.</b>			
<b>No1.</b>	<b>Conocimiento</b>	<b>Alumnos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A</b>	Si	17	49%
<b>B</b>	No	18	51%
Total			100%

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 58:** Pregunta 7.



### **Análisis e interpretación.**

El 51% de los encuestados concluye que la carrera de ingeniería automotriz, no dispone de personal con conocimiento y dominio en pruebas de inyectores H.E.U.I.

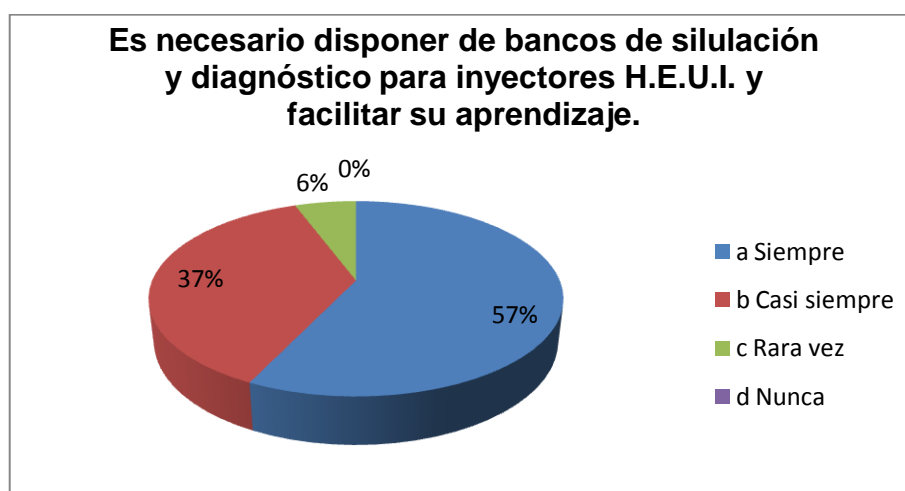
### **CUADRO No. 8**

¿Considera usted que es necesario disponer de bancos de simulación y diagnóstico para inyectores usados en maquinaria y equipo pesado tales como HEUI, con el fin de facilitar el aprendizaje de este sistema de inyección?

**Tabla No. 14:** Tabulación pregunta 8.

<b>Es necesario disponer de bancos de simulación y diagnóstico para inyectores H.E.U.I. y facilitar su aprendizaje.</b>			
<b>No1.</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Alumnos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A</b>	Siempre	20	57%
<b>B</b>	Casi siempre	13	37%
<b>C</b>	Rara vez	2	6%
<b>D</b>	Nunca	0	0%
TOTAL			100%

**Fuente:** Grupo de investigación.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 59:** Pregunta 8.

## Análisis e interpretación.

El 94% de los alumnos encuestados, concluye que es indispensable disponer de bancos de simulación y diagnóstico para inyectores H.E.U.I. para facilitar la enseñanza de este sistema de inyección.

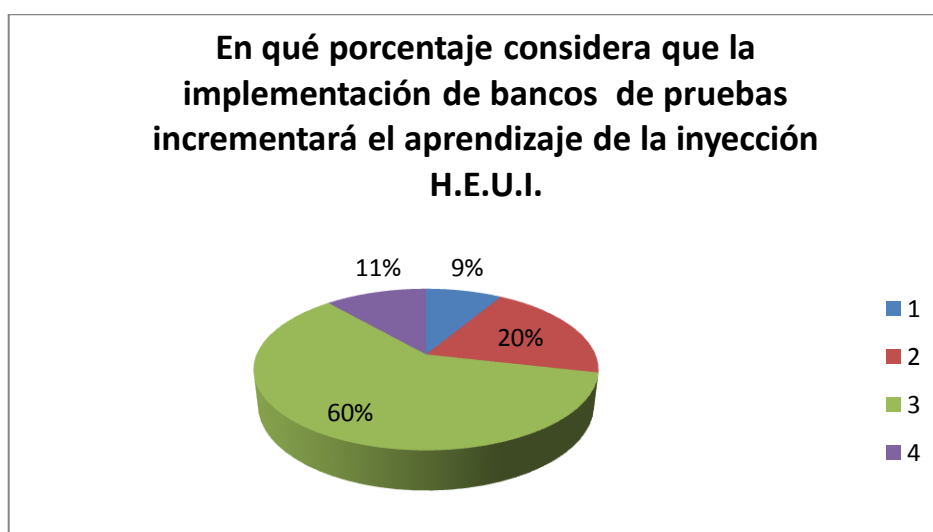
### CUADRO No. 9

¿En qué porcentaje considera usted, que la implementación de nuevos bancos de pruebas de inyección entre estos el sistema HEUI, mejorará la enseñanza de este sistema de inyección?

Tabla No. 15: Tabulación pregunta 9.

En qué porcentaje considera que la implementación de bancos de pruebas incrementará el aprendizaje de la inyección H.E.U.I.			
No1.	Porcentaje	Alumnos	Porcentaje
a	25%	3	9%
b	50%	7	20%
c	75%	21	60%
d	100%	4	11%
TOTAL			100%

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 60: Pregunta 9.

### **Análisis e interpretación.**

El 60% de los encuestados, concluye la implementación de bancos de pruebas y diagnóstico mejorará la enseñanza de los sistemas de alimentación diesel en un 75%.

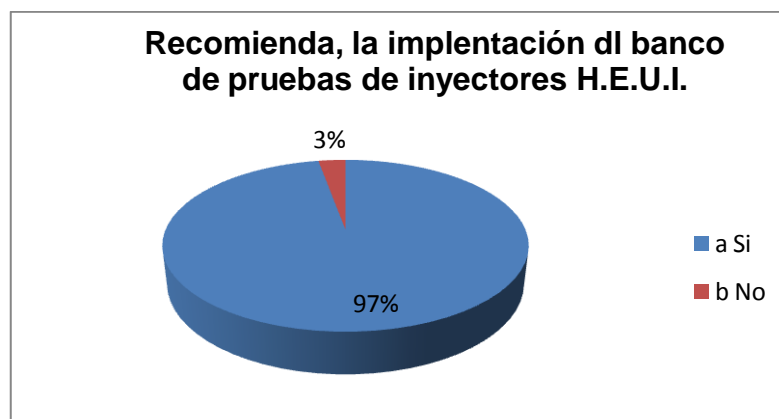
### **CUADRO No. 10**

¿Recomienda usted, la implementación del banco de pruebas de inyectores HEUI para el laboratorio de Reparación Diesel?

**Tabla No. 16:** Tabulación pregunta 10.

<b>Recomienda, la implementación dl banco de pruebas de inyectores H.E.U.I.</b>			
<b>No1.</b>	<b>Conocimiento</b>	<b>Alumnos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>a</b>	Si	34	3%
<b>b</b>	No	1	97%
Total			100%

**Fuente:** Grupo de investigación.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 61:** Pregunta 10.

### **Análisis e interpretación.**

El 97% de los estudiantes encuestados, recomienda la implementación de un banco de pruebas de inyectores H.E.U.I. para el laboratorio de reparación diesel.

#### **4.7. CONCLUSIONES.**

- La implementación del banco de pruebas para inyectores H.E.U.I., constituirá un aporte significativo y de valor para el estudio de este sistema de inyección.
- El estudiante tendrá la oportunidad de manipular y observar el funcionamiento del banco de pruebas H.E.U.I., para diagnosticar posibles fallas en inyectores de maquinaria y equipo pesado.
- El laboratorio de Reparación Diesel no está equipado adecuadamente con banco de pruebas para los diferentes sistemas de inyección Diesel, por lo que la realización de este proyecto es viable.
- Es necesario reforzar los conocimientos adquiridos en las aulas, mediante clases prácticas, a fin de complementar la formación de los futuros profesionales.

#### **4.8. RECOMENDACIONES.**

- Motivar e incentivar la realización de estos proyectos, que fortalecen el aprendizaje y la enseñanza de nuestra carrera.
- Los profesionales del área automotriz deben disponer de conocimientos sobre el sistema de inyección equipado con inyectores HEUI, a fin de realizar pruebas de operación, diagnóstico y mantenimiento de los mismos.
- El estudiante debe tener pleno conocimiento de las aplicaciones del sistema de inyección H.E.U.I. en maquinaria y equipo pesado, que actualmente se comercializan y estipular las ventajas con relación a sistemas de inyección diesel convencionales.
- Se recomienda el diseño y construcción de un equipo de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyectores diesel electrónicos H.E.U.I.

#### **4.9. ESQUEMA DE LA PROPUESTA.**

De acuerdo a los resultados obtenidos la propuesta es:

**IMPLEMENTAR EL “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE DE INYECTORES DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I”..**

#### **4.10. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL BANCO DE SIMULACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE INYECTORES H.E.U.I.**

##### **4.10.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.**

El banco de pruebas de simulación diagnóstico y comprobación de inyectores H.E.U.I debe ajustarse a ciertos parámetros de aplicación y funcionalidad, los cuales se detallan a continuación:

- Presentar versatilidad de acoples y seguros para los sistemas de inyección Cat 3126E e International DT 466E y DT 530E.
- Realizar pruebas de comprobación y funcionamiento de los inyectores H.E.U.I. como son: Limpieza de inyectores sucios, Entrega de combustible a baja presión, entrega de combustible a alta presión, Fuga y Activación de la bobina.
- El procedimiento referente al diagnóstico y comprobación de inyectores es por medio de circuitos de control de potencia para la activación del motor y los actuadores dentro del banco de pruebas de forma automática con selección manual.
- Las pruebas de los inyectores realizadas en el banco, se basan en situaciones reales de funcionamiento eléctrico.
- Dependiendo del tipo de prueba, variarán los parámetros de activación de los inyectores y procedimientos de diagnóstico y comprobación.
- Las solicitudes mecánicas quedaran establecidas en el diseño, considerando los factores críticos de operatividad, resistencia y calidad

de los materiales empleados para asegurar su correcto desempeño y durabilidad.

- La aplicación de los microcontroladores en el diseño del sistema de activación y control de tiempos, convierte al banco de simulación diagnóstico y comprobación en un dispositivo de alta precisión frente a las elevadas exigencias de prestación de servicios en los motores modernos a los cuales es aplicable este procedimiento.

#### **4.10.2. DISEÑO HIDRÁULICO.**

“El diseño de un circuito con lleva dos tareas primordiales: por una parte el cálculo y la definición concreta del componente en función de sus necesidades (presión, caudal, etc.), y por otra el dibujo o croquis del circuito”.<sup>[9]</sup>

Es importante considerar, durante el cálculo de los componentes, la disponibilidad de éstos en el mercado. Por ello, una vez dibujado el sistema y definidos sus componentes, suele ser necesario rehacer los cálculos para adaptar al sistema los componentes estandarizados que mejor se adapten a las necesidades del mismo.

#### **4.10.3. COMPONENTES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA EL BANCO DE PRUBAS H.E.U.I.**

Los componentes usados para el banco de pruebas se muestran en la siguiente tabla, con una breve descripción y datos previos para la aplicación de diseño.

---

<sup>[9]</sup><http://es.scribd.com/doc/6850010/Oleohidráulica-y-Diseño-de-Circuitos>

**Tabla No. 17:** Componentes y parámetros preliminares.

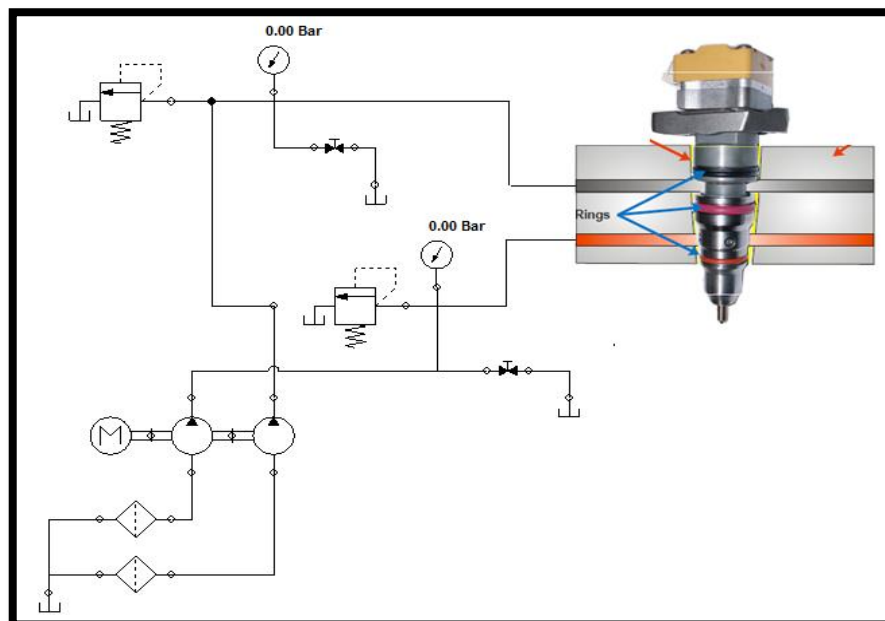
<b>Sistema</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Sistema de combustible de Baja Presión(Presión de Combustible) 0 - 60 Psi 0 - 5 Bar</b>	Bomba Combustible	Accionada por un motor eléctrico, aspira el combustible hacia cámara de inyección.
	Válvula de Alivio	Regula la presión de funcionamiento del sistema de combustible.
	Manómetro	Indica la presión manométrica a la que trabaja el sistema.
	Válvula de cierre N/A	Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión.
	Inyector	Válvulas solenoides a los cuales se les realizará las operaciones de comprobación y mantenimiento.
<b>Sistema de Aceite de Alta Presión(Presión de Inyección) 870 - 3100 Psi 60 - 200 Bar</b>	Bomba Hidráulica	Accionada por un motor eléctrico, aspira el aceite y lo presuriza para el funcionamiento de los inyectores
	Válvula de Alivio	Regula la presión de funcionamiento del sistema de alta presión de aceite, según el tipo de prueba.
	Manómetro	Indica la presión manométrica a la que trabaja el sistema.
	Válvula de cierre N/A	Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión.
	Riel de inyectores	Es el distribuidor de combustible y aceite, donde van a instalarse los inyectores.
	Inyector	Válvulas solenoides a los cuales se les realizará las operaciones de comprobación y mantenimiento.

**Fuente:** Grupo de investigación

**Tabla No. 18:** Datos técnicos bomba hidráulica.

Bomba hidráulica		
Presión	Caudal	Descarga
Baja(Presión de combustible)	7,02 lt/min 1,85 GPM	4 cc/rev
Alta (presión de inyección)	10,71 lt/min 2,83GPM	6,1cc/rev

Fuente: Adeco Ltda.



Fuente: Adeco Ltda.

**Figura 62:** Circuito Hidráulico inicial para la aplicación.

#### 4.10.4. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.

El banco de pruebas de inyectores H.E.U.I. está conformado de dispositivos hidráulicos, eléctricos y electrónicos que se detallan a continuación.

#### 4.10.5. SELECCIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA DE ALTA PRESIÓN Y BAJA PRESIÓN.

Las bombas son los elementos destinados a elevar un fluido desde un nivel determinado a otro más alto, o bien, para convertir la energía mecánica en hidráulica.

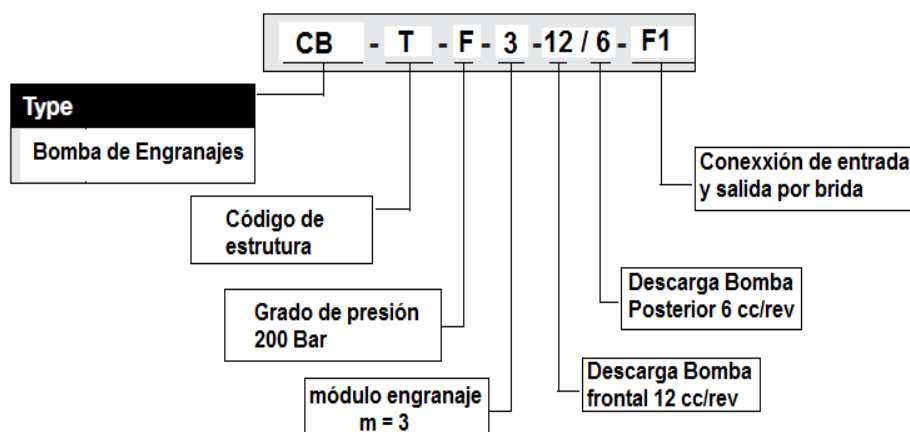


Una bomba produce movimiento de líquido o caudal pero no genera la presión, porque está en función de la resistencia al paso del fluido que se genera en el circuito. Así, por ejemplo, la presión a la salida de una bomba es cero cuando no está conectada al sistema (no está en carga), pero si la misma bomba se conecta a un circuito (carga), o simplemente se le tapona el orificio de salida, la presión aumentará hasta vencer la resistencia de la carga (válvula de seguridad).

Para la selección se tomó en cuenta el funcionamiento real del motor, es decir a partir de un solo eje se impulsa a la bomba de alta presión de aceite y la bomba de combustible.

Mediante la investigación realizada se determinó la presión y el caudal necesario para activar los inyectores (tabla 18). A partir de estos criterios se procedió a la selección de la bomba doble CBTF3126F1, existente en el mercado.

Sin embargo se tienen un exceso de caudal en la salida de la bomba, por lo que es necesario, rehacer los cálculos para determinar el caudal y la potencia del motor requerida



Fuente: Neumac S.A.

Figura 63: Identificación técnica de la bomba hidráulica doble.

Definición de los cálculos de la bomba hidráulica para la aplicación.

$$Q = \frac{cc/rev \cdot RPM}{1000} \left[ \frac{lt}{min} \right] \text{ Ecuación 2: Caudal para la bomba hidráulica.}$$

**Dónde:**

Q = caudal de la bomba hidráulica (lt/min).

cc/rev = Descarga de la bomba por revolución.

RPM = Revoluciones del motor.

- **Caudal para la bomba de baja presión.**

$$Q_1 = \frac{12.1760}{1000} \left[ \frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_1 = 21,12 \left[ \frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_1 = 5,57 \left[ \frac{GPM}{min} \right]$$

- **Caudal para la bomba de alta presión.**

$$Q_2 = \frac{6.1760}{1000} \left[ \frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_2 = 10,56 \left[ \frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_2 = 2,78 \left[ \frac{GPM}{min} \right]$$

**Tabla No. 19:** Datos técnicos bomba hidráulica y motor eléctrico.

Bomba hidráulica			Motor eléctrico
Presión	Caudal	Descarga	Potencia
Baja (Presión de combustible)	21,12 lt/min 5,57 GPM	12 cc/rev	10 Hp 1760rpm
Alta (presión de inyección)	10,56 lt/min 2,8GPM	6 cc/rev	

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 64: Bomba de aceite de alta y baja presión.

- **Cálculo de la potencia del motor eléctrico para la aplicación.**

Para la selección se toma en cuenta la siguiente fórmula y los parámetros de la tabla 19.

$$hp = \left[ \frac{P \cdot Q}{745,7} \right]$$

**Ecuación 3:** Potencia para el motor eléctrico.

**Dónde:**

- P = Presión de trabajo (Psi).
- Q = caudal de la bomba hidráulica (GPM).

Tabla No. 20: Presiones de funcionamiento bomba de alta presión.

Bomba Hidráulica Doble	Psi	Bar
Sistema de baja presión	60	5
Sistema de alta presión	3100	200

Fuente. Manual de diagnóstico para motores diesel DT 466E e International 530E.

- **Presión de combustible.**

$$hp = [P \text{ min } .Q_1] 7 \times 10^{-4}$$

$$hp = [60 \text{ Psi } .5,57 \text{ GPM}] 7 \times 10^{-4}$$

$$hp = 0,23$$

- **Presión de actuación de inyección.**

$$p = [P \text{ max } .Q_2] 7 \times 10^{-4}$$

$$hp = [3100 \text{ Psi } .2,8 \text{ GPM}] 7 \times 10^{-4}$$

$$hp = 6,076$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se requiere de una potencia de 6.5hp, sin embargo el motor seleccionado es de 10Hp y la razón se detalla en la parte eléctrica. Figura 65.



Fuente: Adeco Ltda.

Figura. 65: Motor eléctrico para la aplicación.

#### 4.10.6. SELECCIÓN DEL ACOPLAMIENTO MECÁNICO.

Los acoplamientos tienen por función prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí.

Los acoplamientos flexibles son diseñados de tal manera que sean capaces de transmitir torque con suavidad, en tanto permiten cierta desalineación axial, radial o angular.

Para la aplicación se ha seleccionado un acoplamiento flexible de quijadas, el cual tiene dos masas con quijadas protuberantes, estas quijadas se superponen axialmente y se entrelazan torsionalmente a través de un inserto elástico de hule.

Cálculo para la selección del acoplamiento.

$$C = \frac{7160 \cdot P}{n} \quad \text{Ecuación 4: Selección de acoplamiento mecánico.}$$

**Dónde:**

C = par nominal a transmitir (Nm).

P = potencia a transmitir (hp).

N = velocidad de rotación (rpm).

$$C = \frac{7160.10}{1760}$$

$$C = 40.68 Nm.$$

La elección de un acoplamiento con el tamaño correcto es muy importante, para hacerlo es necesario conocer no sólo la potencia y velocidades requeridas, sino también la severidad del servicio que debe absorber, es decir, será necesario aplicar un factor de corrección o de servicio. En la determinación del par nominal del acoplamiento, se debe tener en cuenta:

- Las irregularidades del par debidas a los diferentes tipos de máquinas motrices y receptoras (K1).
- Las frecuencias de arranque (K2).
- El número de horas de funcionamiento por día (K3).

El producto K de estos tres coeficientes K1, K2 y K3, se denomina coeficiente de seguridad, y se obtiene de las siguientes tablas

**Tabla No. 21:** Coeficiente K1 para máquina motriz y receptora.

Máquina motriz			Máquina receptora	Ejemplos de máquinas receptoras
Motor electr. y turbina	Máq. de piston			
	4 a 6 cilind.	1 a 3 cilind.		
1	1.2	1.4	1 Marcha regular Inercia muy pequeña	•Eje de reenvío •Generador de alumbrado •Linea de ejes •Bombas centrifugas •Ventilador centrifugo ...
1.2	1.4	1.7	2 Marcha irregular Inercia pequeña	•Agitador de líquidos •Cinta transportadora •Ascensor •Máquinas herramientas rotativas para madera y metales •Máquinas textiles ligeras •Plegadoras •Bombas de engranajes •Bombas de paletas •Ventiladores ...
1.4	1.7	2	3 Marcha irregular Inercia media	•Agitador de líquidos cargados •Compresor rotativo •Transportadora de rodillos •Desmenuzadoras •Hornos rotativos •Máquinas para maderas (desbastadora, sierra de cinta ...) •Máquinas para imprimir •Mezclador •Montacargas •Purzonadora •Bomba centrifuga para líquidos cargados ...
1.7	2	2.4	4 Marcha irregular Inercia media De golpes medios	•Formigonera •Molino de percusión •Molino de bolas •Compresor de piston con volante de inercia •Transportador de cadena •Grúa •Laminador de metales ligeros •Máquinas de molino harinero •Martillo pilón •Telar •Bomba de piston con volante de inercia •Capiladora de metales •Tornos elevadores •Ventiladores de mina ...
2	2.4	2.8	5 Marcha irregular Inercia importante De golpes importantes	•Molino de martillos •Calandra (de caucho, textil ...) •Compresor de piston con pequeño volante de inercia •Destribadora de madera •Excavadora •Laminador •Bomba de piston con pequeño volante de inercia •Prensa torzadora •Prensa para fabricación de papel •Tamiz vibrante ...

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/57460226/ACOPLAMIENTOS-MECANICOS>.

**Tabla No. 22:** Coeficiente K2 para frecuencia de arranque.

Según máquina motriz - máquina receptora Ver cuadro K <sub>1</sub>	NUMERO DE ARRANQUES POR HORA				
	1	10	30	60	120
1	1	1,2	1,3	1,5	1,6
2 3	1	1,1	1,2	1,3	1,4
4 5 6	1	1,05	1,1	1,2	1,2

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/57460226/ACOPLAMIENTOS-MECANICOS>.

**Tabla No. 23:** Coeficiente K3 para número de horas de funcionamiento diario.

Número de horas de funcionamiento diario	0 - 2	2 - 8	8 - 16	16 - 24
Coeficiente K <sub>3</sub>	0,9	1	1,1	1,2

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/57460226/ACOPLAMIENTOS-MECANICOS>.

$CN = C \cdot FS$  **Ecuación 5:** Par nominal del acoplamiento.

**Dónde:**

CN = Par nominal del acoplamiento Nm.

C = Par nominal a transmitir Nm.

FS = Factor de seguridad (K).

$$K = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,08$$

$$CN = 40,68 \cdot 1,08 = 43,93 Nm.$$

A continuación se selecciona el acople elástico de quijadas L090, según el par y la potencia a transmitir en la siguiente Figura 66.

Size	Elastomeric Member	Number of Jaws	Basic HP Ratings @ Varying RPM				Torque Rating		Maximum Bore		Max. RPM x1000
			100	1200	1800	3600	in-lbs	Nm	inch	mm	
L, AL & LC TYPE							3.5	.40	.375	9	31.0
L035	SOX (NBR)	2	.006	.07	1	.22	26.3	2.97	.625	16	18.0
L050/AL050	SOX (NBR)	2	.042	.50	.75	1.51	50.0	5.65	.625	16	18.0
L050/AL050	Hytre	2	.080	.96	1.43	2.88	43.2	4.88	.750	19	14.0
L070/AL070	SOX (NBR)	2	.070	.84	1.23	2.52	114.0	12.88	.750	19	3.6
L070/AL070	Hytre	2	.180	2.16	3.26	6.48	90.0	10.17	.875	22	11.0
L075/AL075	SOX (NBR)	3	.140	1.68	2.57	5.04	227.0	25.65	.875	22	3.6
L075/AL075	Hytre	3	.360	4.32	6.48	12.96	144.0	16.27	1.00	25	9.0
L090/AL090/LC090	SOX (NBR)	3	.230	2.76	4.11	8.28	401.0	45.31	1.00	25	3.6
L090/AL090	Hytre	3	.640	7.68	11.50	23.04	194.0	21.92	1.12	28	9.0
L090/AL090	SOX (NBR)	3	.310	3.72	5.50	11.16	561.0	63.08	1.12	28	3.6

Fuente: Neumac S.A.

**Figura 66:** Selección del acople de quijadas para la aplicación.

#### 4.10.7. SELECCIÓN DE LA VÁLVULA DE ALIVIO.

Las válvulas de alivio evitan que la presión del sistema aumente por encima de un valor establecido. Cuando el sistema se sobrecarga la válvula se abre y el flujo de la bomba se descarga directamente al depósito de aceite. Si la descarga de la válvula dura mucho tiempo, produce calentamiento en el aceite, por el paso de gran cantidad del mismo, por un orificio muy pequeño.

Para la selección de las válvulas de alivio se toma en consideración las presiones de funcionamiento de los dos fluidos del sistema de inyección HEUI.

- **SISTEMA DE BAJA PRESIÓN.-** Funciona a 60 PSI, por lo tanto se selecciona una válvula RV3 -10 - S - 0 – 3 y housing de aluminio.

**Tabla No 24.** Código de modelo RV3 de baja.

<b>RV3</b>	Válvula de alivio
<b>10</b>	Tamaño
<b>S</b>	Ajuste por tornillo
<b>0</b>	Tamaño del puerto 3/8
<b>3</b>	Rango de presión de apertura 3,5 - 20 bar (50 - 300 psi)

Fuente: Neumac S.A.

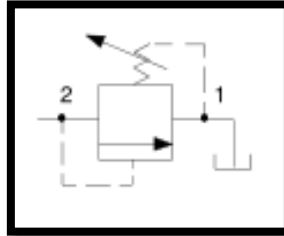
- **SISTEMA DE ALTA PRESIÓN.-** Funciona entre 870 y 3000 PSI. La válvula de alivio seleccionada es una RV5 10 – S – 0 – 36 y housing de Al.

**Tabla No. 25:** Código de modelo RV3 de alta.

<b>RV3</b>	Válvula de alivio
<b>10</b>	Tamaño
<b>S</b>	Ajuste por tornillo
<b>0</b>	Tamaño del puerto 3/8 in.
<b>36</b>	Rango de presión de apertura 41 - 250 bar (600 - 3600 psi)

Fuente: Neumac S.A.

### Símbolo de operación.



Fuente: Manual de Válvulas Vickers.

Figura 67: Símbolo Válvula RV3.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 68: Válvula de alivio RV3 y housing para la aplicación.

Tabla No. 26: Especificaciones de la válvula de alivio RV3.

Cartridge Type Direct-Acting Relief Valves • Vickers RV3-10 Series • 0-20 GPM						
Catalog Part No.	Vickers Part No.	Vickers Model (Cartridge Only)	Adjustment Range (psi)	Adjustment Type	Seal Material	Wt.
C1ET93	566688	RV3-10-S-0-3/	50-300	Screw	Buna-N	0.51
C1AD23	02-164417	RV3-10-F-0-36/25	600-3600 (Set at 2500)	Factory Set	Buna-N	0.10
C1BT34	565568	RV3-10-S-0-36/	600-3600	Screw	Buna-N	0.53

Note: Housing not included (Select from table below).

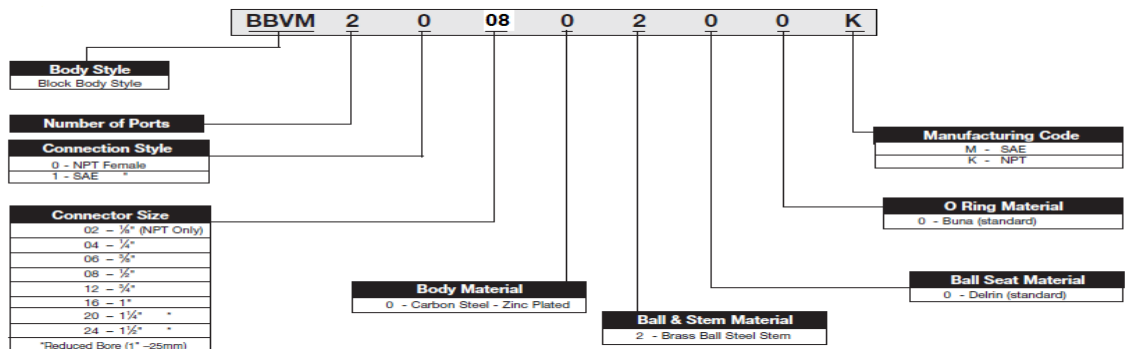
Fuente: Neumac S.A.

### 4.10.8. SELECCIÓN VALVULAS DE PASO.

Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión, evitando el consumo innecesario potencia y alargando la vida de los elementos y del fluido de operación.

#### a. VALVULA DE PASO PARA EL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN BBVM20080200K.





Fuente: Neumac S.A.

Figura 69: Identificación de la válvula de paso de alta presión.

Tabla No. 27: Parámetros de operación

Size	Part Number	Maximum Working Pressure	
		PSI	Bar
1/2"	NPT	BBVM20080200K	5000 PSI / 345
	SAE	BBVM21080001M	5000 PSI / 345

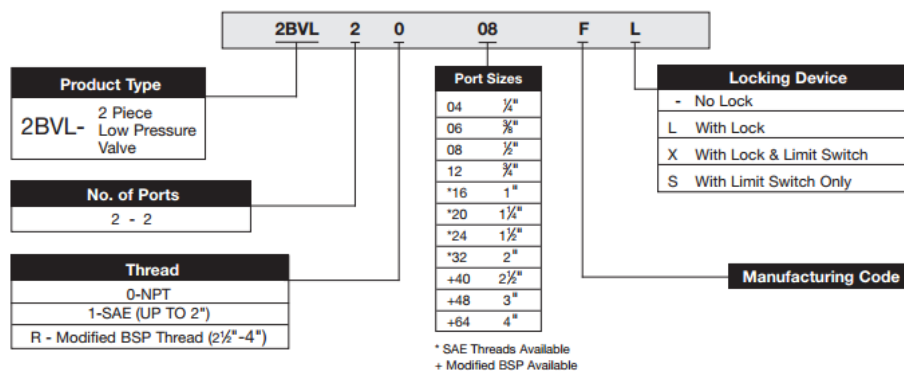
Fuente: Neumac S.A.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 70: Válvula de paso de alta presión para la aplicación.

## b. VALVULA DE PASO PARA EL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN 2BVL2008FL.



\* SAE Threads Available  
+ Modified BSP Available

Fuente: Neumac S.A.

Figura 71: Identificación de la válvula de paso de baja presión.

**Tabla No. 28:** Parámetros de operación.

Part No.	Size NPT	Max Working Pressure	Lbs Kq
2BVL-20 06 F	3/8" in mm	928 PSI	0.28
		64 Bar	0.13
2BVL-20 08 F	1/2" in mm	435 PSI	0.41
		30 Bar	0.19
2BVL-20 12 F	3/4" in mm	435 PSI	0.67
		30 Bar	0.30

Fuente: Neumac S.A.

#### 4.10.9. SELECCIÓN DE LOS MANÓMETROS.

Los manómetros son los aparatos destinados a medir la presión del fluido en una línea del sistema

La selección del manómetro se realiza de acuerdo a dos criterios, para nuestro caso tenemos:

- El rango de precisión que se desee.
- Las presiones de operación de los sistemas hidráulicos.

**Tabla No. 29:** Parámetros de operación de los manómetros.

Presión Sistema Hidráulico		Manómetros	
Unidad	Psi	Psi	Bar
Baja	60	0-160	0-10
Alta	870-3000	0-3000	0-204
Precisión	1,50% de la escala		

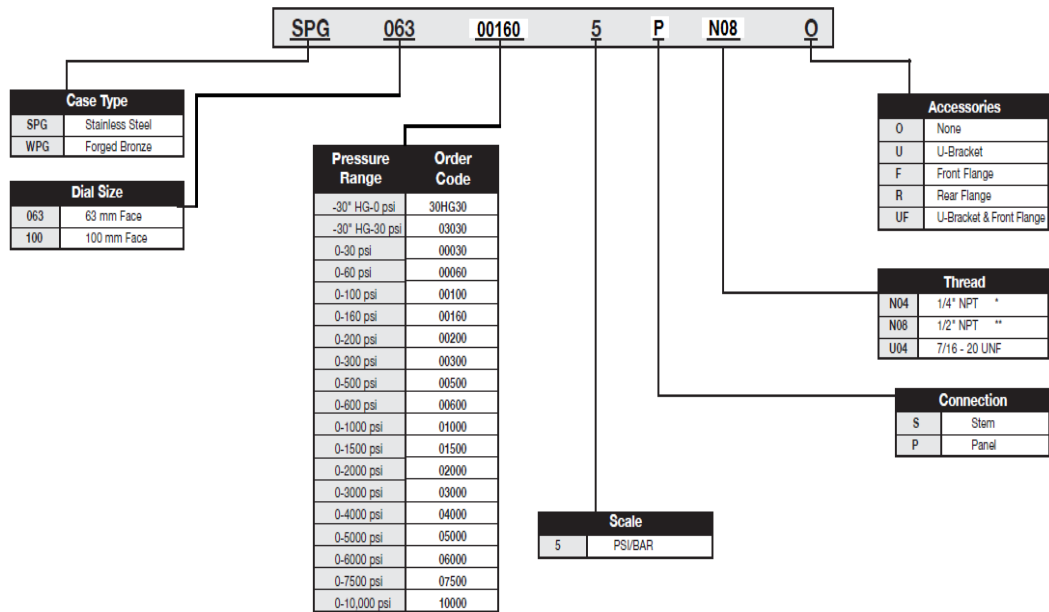
Fuente: Grupo de investigación

Por lo tanto para nuestra aplicación se selecciona los siguientes manómetros SPG063001605PN04O y SPG063030005PN04O, los cuales cumplen con los requerimientos del equipo de pruebas.



Fuente: Neumac S.A.

**Figura 72:** Manómetro utilizado en la aplicación.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 73: Identificación técnica de manómetros de presión.

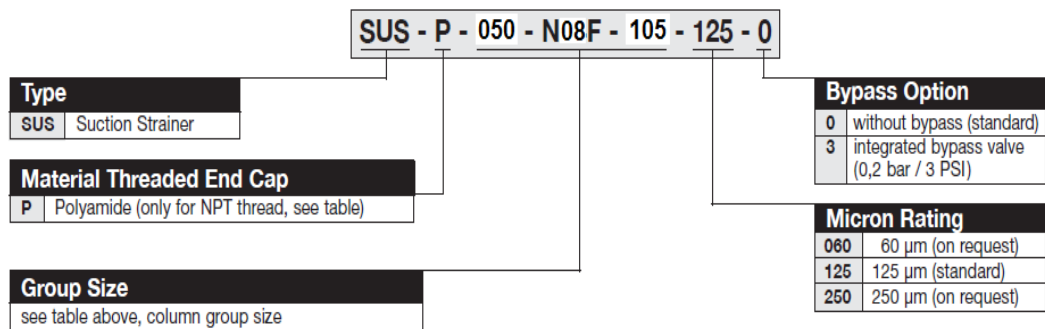
#### 4.10.10. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

##### a. FILTROS DE ASPIRACIÓN.

Elemento cuyo grado de filtración suele ser de 100, 160 y 270  $\mu\text{m}$  y que se coloca en la aspiración de la bomba para protegerla de las partículas de gran tamaño procedentes del depósito. Estos filtros deben instalarse a un nivel tal que no le permita aspirar los lodos y posos sedimentados en el fondo del depósito, ni tampoco el aire del interior del depósito cuando baje el nivel del fluido.

El diseño del circuito hidráulico consta de dos filtros de succión para los sistemas de alta y baja presión. Se ha seleccionado filtros de paso total de aceite, tomando en cuenta el grado de filtración recomendado para el diseño líneas de succión y que cumple ampliamente los requerimientos.

Se ha seleccionado dos filtros de succión SUSP050N08F1051250 de 125  $\mu\text{m}$ .



Fuente: Neumac S.A.

Figura 74: Identificación de filtros de succión.

Tabla 30. Dimensiones y parámetros de operación del filtros de succión.

Group Size			Nominal Flow						Diameter							
Upper End Diameter	Thread Code	Element Length	Port (G)	Nominal Flow		Filter Area		Length L		øD1		øD2		SW	Wt.	
			(NPT)	gpm	l/min	in <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	mm	in	mm	in	mm	in	(lb.)		
050	- N06F	- 090	3/8"	3	11	20	130	90	3.5	50	1.9	49	1.9	26	1.0	0.3
050	- N08F	- 105	1/2"	5	19	25	161	105	4.1	50	1.9	49	1.9	26	1.0	0.4
068	- N12F	- 105	3/4"	8	31	62	400	105	4.3	68	2.6	66	2.6	34	1.3	0.5

Fuente: Neumac S.A.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 75: Filtros de succión para la aplicación.

## b. FILTRO DE RETORNO.

Su misión principal es la filtración del fluido una vez que ha circulado por los elementos y teóricamente arrastra consigo los contaminantes generados por el propio circuito. La filtración se realiza a baja presión (menor que 7 bares). Tiene un grado de filtración de 10 a 160 µm.

Para la línea de retorno se ha seleccionado el conjunto filtro de 25µm., soporte y manómetro de saturación que cumplen con los requerimientos del sistema.

- **FILTRO DE RETORNO SF-6504de 25µm.**



Fuente: Neumac S.A.

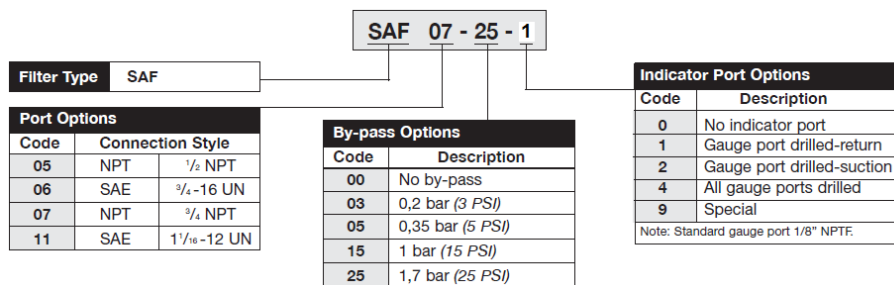
Figura 76: Filtro utilizado en la aplicación.

- **SOPORTE SAF07251.**

Tabla No. 31: Parámetros de operación del soporte del filtro.

Construcción	Sello	Conexiones de puerto	Tasa de flujo	Presión Trabajo	Temperatura	Indicador de succión
Cabeza de Al.	Buna	NPT, SAE	90lt/min 25GPM	5.5 bar	-32 a 100 °C -25 a 212° F	Manómetro de presión

Fuente: Neumac S.A.

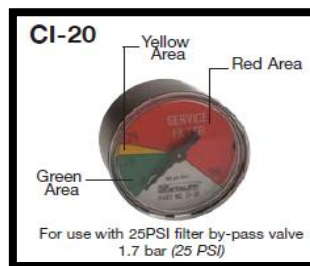


Fuente: Neumac S.A.

Figura 77. Identificación del soporte del filtro.

- **INDICADOR DE SATURACIÓN.**

Indica el estado de suciedad del filtro.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 78: Filtro de Saturación C120 para la aplicación.

**Tabla No. 32:** Parámetros del indicador de saturación.

Rango de escala	Conexión
0 – 100Psi	1/8 NPT

Fuente: Neumac S.A.

#### 4.10.11. SELECCIÓN DEL RESERVORIO DE ACEITE.

El reservorio almacena el aceite, elimina el calor y separa el aire del aceite. Los tanques deben tener resistencia y capacidad adecuadas, y no deben dejar entrar la suciedad externa.

Para la selección, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Disponer de suficiente superficie para que el fluido caliente, pueda por convección, transferir su temperatura al ambiente que le rodea.
- Almacenar un volumen de fluido grande, aproximadamente de dos a tres veces el caudal que entrega la bomba.
- Disponer de una cámara de aire que facilite la eliminación del aire disuelto en el fluido.

#### Volumen del depósito.

$$V = 3.Qt$$

$$V = 3.(Q1+ Q2)$$

$$V = 3.(5,56+ 2,79)GPM \text{ Ecuación 6: Volumen del depósito.}$$

$$V = 25,05 \text{ gal.}$$

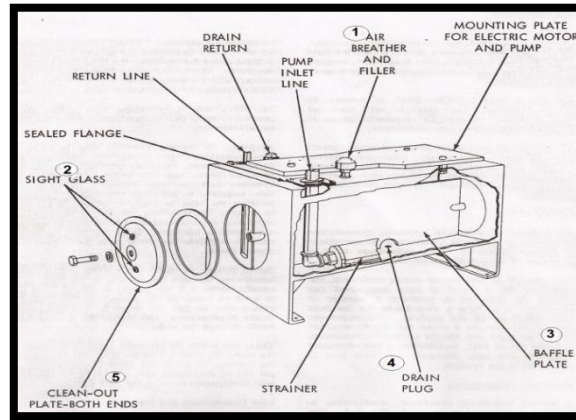
$$V = 75,15 \text{ lt.}$$

La forma del tanque es un prisma rectangular con las siguientes dimensiones: base 73 cm, altura 32cm y profundidad 34 cm, fabricado en acero ASTM A36.

$$V = \frac{73.32.32}{1000}$$

$$V = 80 \text{ lt.}$$

El depósito de aceite dispone de los elementos siguientes:



Fuente: Neumac S.A.

Figura 79: Reservorio de aceite estándar.

**1. Tapa de depósito y aireador.**-Impide que las impurezas del aire ambiente entren al depósito y es usada para llenar y añadir aceite al tanque.



Fuente: Neumac S.A.

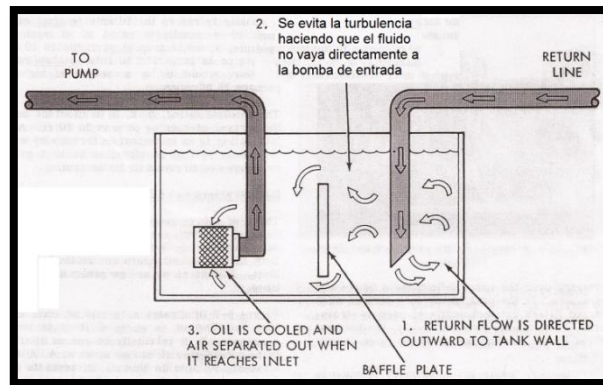
Figura 80: Tapa de depósito con malla de filtro de 40  $\mu\text{m}$  con aireador.

**2. Visor de nivel máximo y mínimo o mirilla.**- Si el aceite está en un nivel a la mitad de la mirilla, indica que el nivel de aceite es correcto.

**3. Placa separadora retorno – aspiración.** Se extiende a lo largo del depósito y atraviesa el centro del tanque. Tiene generalmente 2/3 de la altura del nivel de aceite. Cumple las siguientes funciones:

- Evitan el paso de burbujas de aire del retorno hacia la aspiración de la bomba, dando tiempo para que dichas burbujas lleguen a la superficie.
- Reduce la turbulencia del lado de aspiración de la bomba.

- Permite que las partículas extrañas se depositen en el fondo.
- Ayuda a separar el aire del fluido.
- Ayuda a disipar el calor a través de las paredes del tanque.



Fuente: Neumac S.A.

Figura 81: Reservorio de aceite estándar.

4. **Tapón de vaciado.** Ubicado en el punto más bajo del tanque, permite sacar el aceite degradado.
5. **Tuberías de suministro y retorno.-** Estas deben situarse bajo el nivel del fluido, de lo contrario el aire se mezcla con el aceite y forma espuma.

Las líneas que terminan en el fondo del tanque y que no llevan filtros deben cortarse a un ángulo de 45 grados, esto impide que la abertura intercepte el fondo del tanque y corte el caudal. En líneas de retorno el corte debe ubicarse de modo que el flujo se dirija a las paredes del tanque y se aleje de la entrada de la bomba.

6. **Indicador de temperatura máxima de 90 °C.**



Fuente: Neumac S.A.

Figura 82: Indicador de temperatura con visor de nivel de aceite.



#### **4.10.12. SELECCIÓN DE MANGUERAS HIDRÁULICAS.**

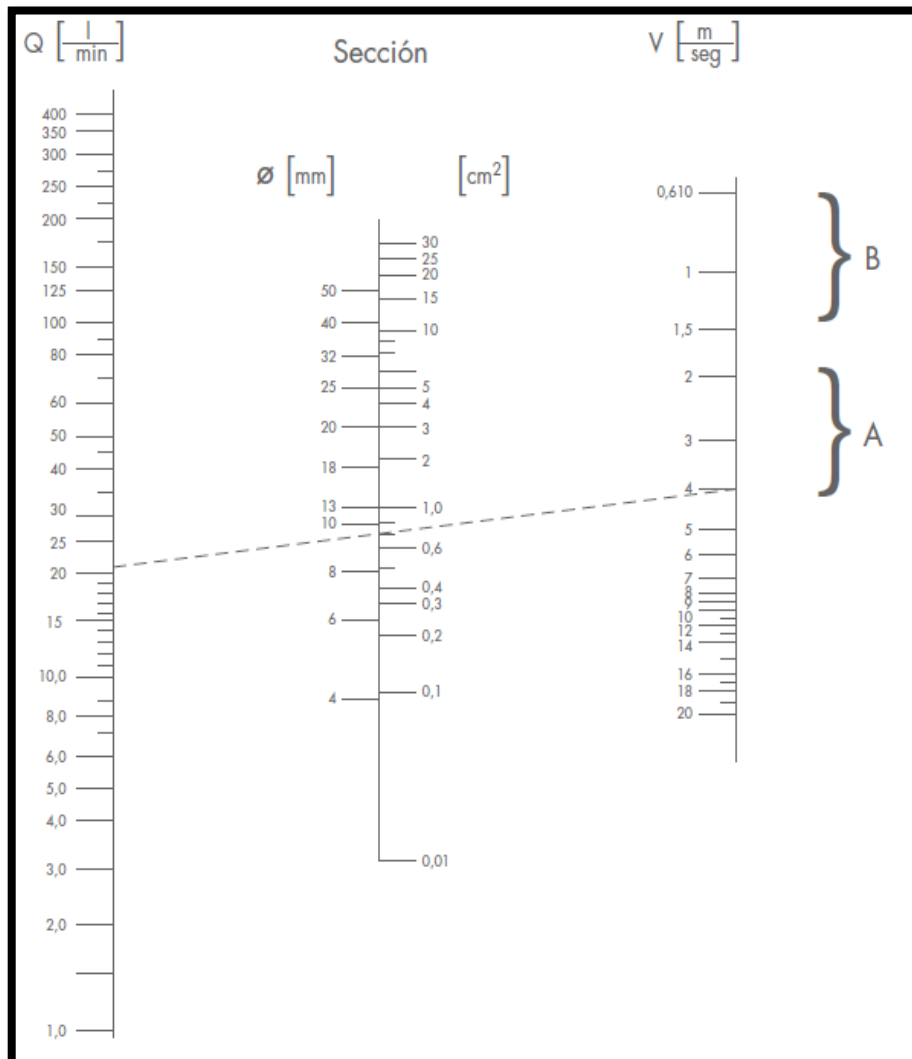
Para la selección de las mangueras hidráulicas, los siguientes valores empíricos son los recomendados para adquirir la mínima caída de presión con un razonable diámetro interior de manguera.

- Línea de succión (A): 0.6 – 1.5 m/s.
- Línea de presión (B): 2 - 4.6 m/s.

Los parámetros de selección de mangueras son los siguientes:

- La presión de trabajo.
- El caudal.
- La caída de presión admisible.
- La compatibilidad

A continuación se muestra la gráfica que se utiliza para determinar el diámetro interno de la manguera, que se necesita para cumplir con los requerimientos de caudal y velocidad. Si la línea atraviesa la columna del diámetro interior en dos medidas, utilice el diámetro mayor.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 83: Gráfica para la selección del diámetro interno de la manguera.

Analíticamente la sección de la manguera, se determina mediante la ecuación:

$$\phi = 4.623 \sqrt{\frac{Q \left( \frac{l}{\min} \right)}{V \left( \frac{m}{s} \right)}} \quad \text{Ecuación 7: Diámetro interno de la manguera.}$$

Dónde

Q = caudal de la bomba (lt/min).

V = velocidad del fluido (m/s).

- **Línea de succión del sistema de baja presión.**

$$\phi = 4.623 \sqrt{\frac{21,12}{4,6}}$$
$$\phi = 9,90mm.$$

Se selecciona manguera de 1/2in.

- **Línea de Presión del sistema de baja presión.**

$$\phi = 4.623 \sqrt{\frac{21,12}{1,5}}$$
$$\phi = 17,34mm.$$

Se selecciona manguera de 3/4in.

- **Línea de succión del sistema de alta presión.**

$$\phi = 4.623 \sqrt{\frac{10,56}{4,6}}$$
$$\phi = 7,04mm.$$

Se selecciona manguera de 1/2in.

- **Línea de presión del sistema de baja presión.**

$$\phi = 4.623 \sqrt{\frac{10,56}{1,5}}$$
$$\phi = 12,26mm.$$

Se selecciona manguera de 1/2in.

Después de calcular el diámetro interior de las mangueras y con los parámetros conocidos de presión de trabajo del sistema. Se procede a la selección de las siguientes mangueras.

- Mangueras de baja presión(presión de combustible):

SAE 100RA6 – 1/2” 2,76 Mpa - 400 Psi.

- Mangueras de alta presión (Presión de inyección):

SAE 100R2AT - 1/2” 27,5 Mpa – 4000 Psi.

#### **4.10.13. SELECCIÓN DE UNIONES HIDRÁULICAS.**

Se seleccionan de acuerdo a sus dimensiones y presiones que deben soportar, según tablas del fabricante.

#### **4.10.14. SELECCIÓN DEL FLUIDO HIDRÁULICO DE CALIBRACIÓN.**

El fluido de calibración diesel Rock Valley C - 3112 Type II, es un fluido de referencia utilizado en los equipos de prueba de inyección diesel. Además cumple con los exigentes límites especificados para las pruebas y el desarrollo de las piezas originales.

#### **Especificaciones del líquido lubricante.**

- **Viscosidad:** 10.81cSt @ 29 C (84.2 F) ASTM D-445 ESPEC. 10.00-11.00
- **Gravedad Específica:** 0.8693@ 60F (15.5C) ASTM D-1298 ESPEC. 0.865-0.888

#### **Precauciones:**

- Puede causar irritación a los ojos
- Puede causar irritación a la piel
- Una excesiva inhalación de vapores o niebla puede causar irritación a las vías respiratorias
- Si llega a tragarlo puede causar una irritación gastrointestinal.

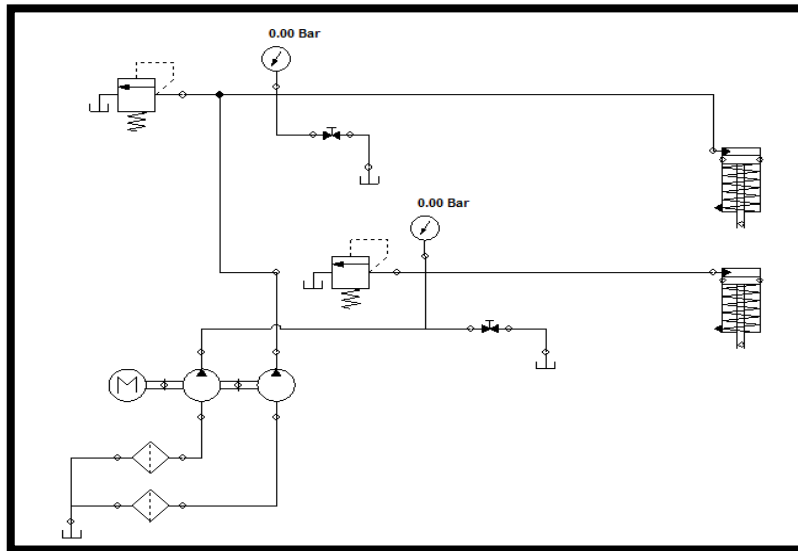
Nota. Como fluido de calibración también es posible utilizar los siguientes aceites.

- Texaco Rando 32
- Esso Nuto – H32
- Shem Hydro 32
- Mobil DTE 24

#### **4.11. DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO EN AUTOMATION STUDIO 6.0**

Para el diseño del circuito hidráulico se estudió a profundidad los componentes y parámetros de funcionamiento real del sistema de inyección HEUI, y la disponibilidad de componentes similares que realizan la misma función existentes en el mercado.

El diseño final se realizó con la ayuda de Automation Studio 6.0 que es un programa de simulación amigable y muy versátil para el diseño de circuitos hidráulicos.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 84: Diseño del circuito hidráulico para la aplicación.

#### 4.11.1. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL SISTEMA.

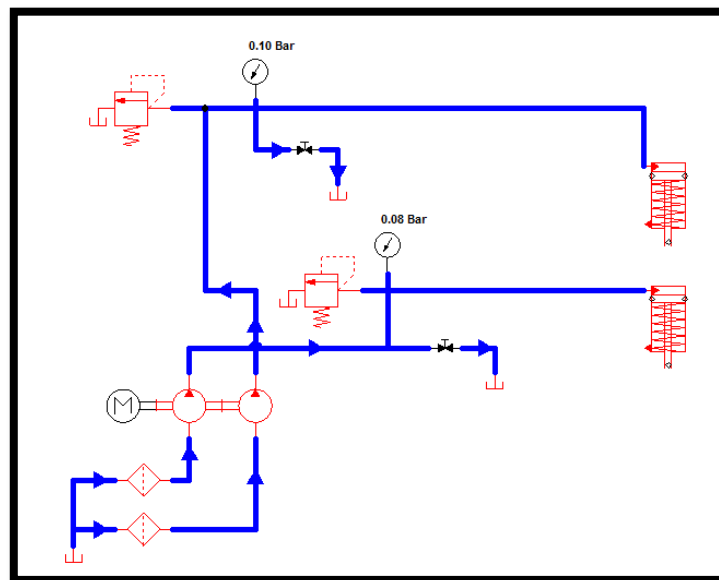
El circuito hidráulico realizado representa la simulación y funcionamiento del sistema de inyección H.E.U.I., para el banco de pruebas de inyectores. Consta de dos circuitos: el circuito inferior simula el sistema de alimentación de combustible y el circuito superior, simula la alimentación de aceite para la presión de inyección.

El diagrama hidráulico está dotado de un motor eléctrico, una bomba doble de alta y baja presión, válvulas de alivio y sus respectivos manómetros para verificar la presión de trabajo de cada sistema, además el circuito para su funcionamiento utiliza un solo líquido de calibración, para el sistema de alta y baja. Los inyectores están representados por dos pistones de simple efecto.

#### 4.11.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

Al iniciar la simulación del sistema, la bomba hidráulica impulsada por el motor eléctrico, aspira el fluido, y lo envía al circuito. Existen dos posiciones de funcionamiento del sistema

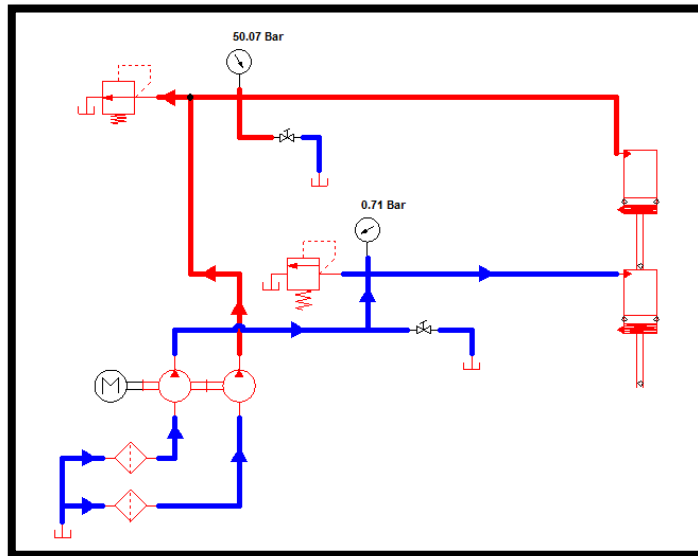
**a. Circuito en bypass al reservorio.** En esta posición, el fluido está circulando, a través de las válvulas de media vuelta directamente al tanque, ésta operación es válida para no tener presurizado el sistema continuamente, cuando no se está realizando operaciones de comprobación de los inyectores, evitando que la potencia que entrega el motor se convierta en calor y se degrade el fluido de calibración.



Fuente: Grupo de investigación.

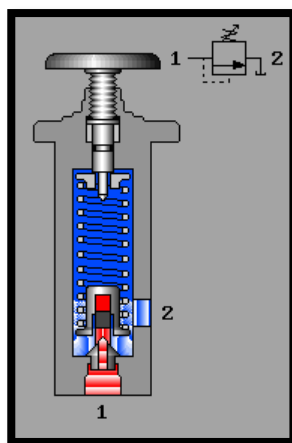
Figura 85: Simulación del circuito hidráulico en bypass al tanque.

**b. Circuito conectado a la carga.** Al cerrar las válvulas de media vuelta, el fluido se conecta a la carga generando presión en el sistema. En el circuito de baja presión, la válvula de alivio integrada permiten regular la presión de combustible aproximadamente a 60 psi, y el exceso retorna al tanque. En el circuito de alta presión, la válvula de alivio facilita regular la presión de inyección a diferentes valores (500- 3000 psi), según las pruebas de comprobación a realizar.

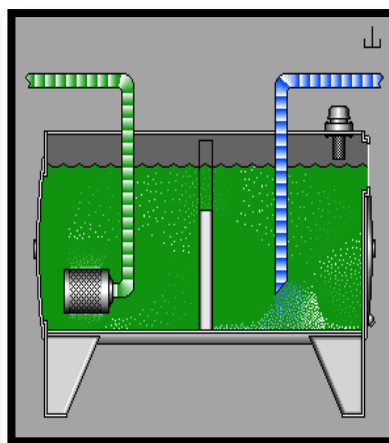


Fuente: Grupo de investigación.

Figura 86: Simulación del circuito hidráulico conectado a la carga.



investigación.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 87: Funcionamiento de la válvula de alivio. Fuente: Grupo de investigación.

#### 4.12. DISEÑO MECÁNICO

Para el diseño mecánico de la estructura del banco de pruebas H.E.U.I. se utilizó el programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico SolidWorks, el cual permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3D), y tiene la ventaja de permitir croquizar ideas con

rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelos y dibujos detallados, cálculos rápidos y exactos.

#### **4.12.1. PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.**

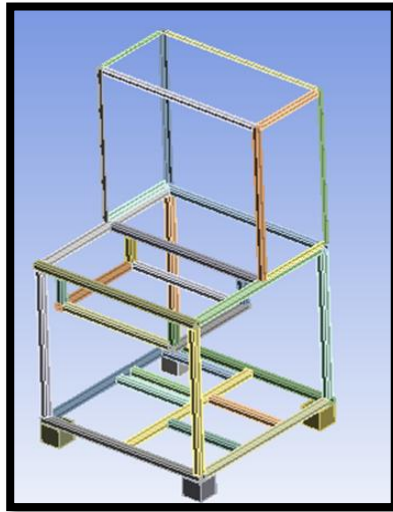
- **Resistencia:** Que soporte la masa del sistema de inyección HEUI.
- **Distorsión:** Que no se deforme en los puntos críticos de sujeción.
- **Corrosión:** Que soporte cualquier ataque electroquímico del entorno, protegiendo el material con la pintura adecuada.
- **Costo:** Que sea económico sin que esto afecte la seguridad del diseño.

#### **4.12.2. CROQUIS EN 3D DE LA ESTRUCTURA.**

El diseño de la base de la estructura se lo realizó con tubo estructural cuadrado cuyas medidas son de 1 ½ x 2 pulgadas, para las partes donde soportará cargas estáticas. En la parte superior del banco, se utilizó ángulos 1 x 1/8, como soporte para el panel de instrumentos y tapas de ensamblaje.

El material seleccionado es un acero ASTM A 36, que tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi) y es muy utilizado en la construcción de estructuras metálicas.





Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 89:** Croquis en 3D de la estructura del banco de pruebas.

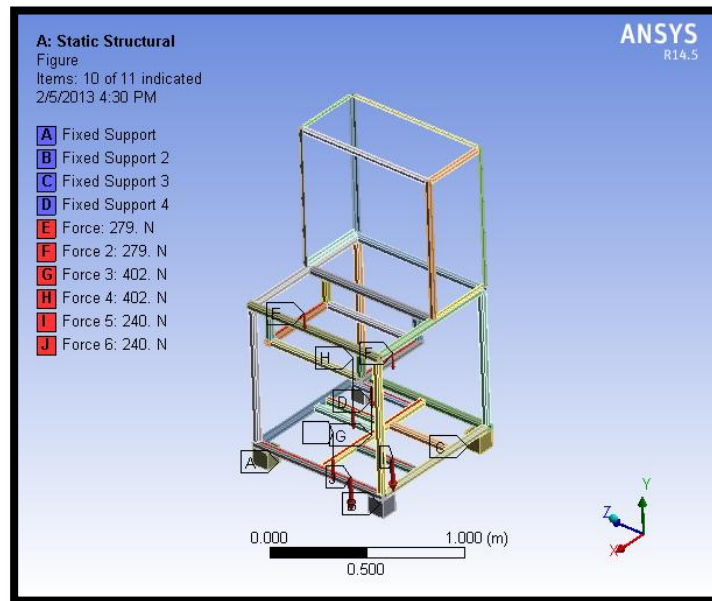
#### **4.12.3. ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN EL PROGRAMA ANSYS.**

Ansyes es un programa de simulación por computadora y análisis estructural basado en el Método del Elemento Finito (FEM, por sus siglas en inglés). Puede usarse para analizar el comportamiento de un diseño bajo determinadas condiciones de trabajo.

#### **4.12.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO.**

Los resultados que arroja el programa después de ejecutar el estudio son:

- Tensión de Von Mises (VON).
- Deformación unitaria equivalente.
- Factor de seguridad (FDS).



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 90: Fuerzas aplicadas a la estructura.

### a. TENSION DE VON MISES (VON).

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de Von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima.

En términos de las tensiones principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , la tensión de Von Mises se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)} \quad \text{Ecuación 8: Tensión Von.}$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión del material.

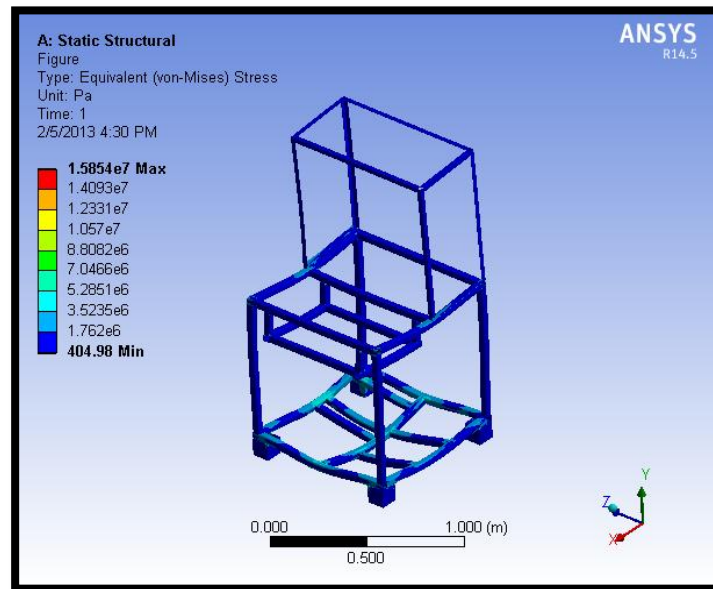
$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}}$$

Nuestro estudio arroja el siguiente resultado:

$$\sigma_{\text{estructura}} < \sigma_{\text{material}}$$

$$16 \text{ Mpa} < 250 \text{ Mpa}$$

Por lo tanto la estructura no fluirá y por ende no tendrá falla por deformación. Es viable su construcción.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 91: Tensión de von Mises (VON) de la estructura.

### b. DEFORMACIÓN UNITARIAEQUIVALENTE.

Se define como el cambio de longitud por unidad de longitud de la misma magnitud.

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{s' - s}{s} \text{ Ecuación 9: Deformación unitaria equivalente.}$$

Dónde:

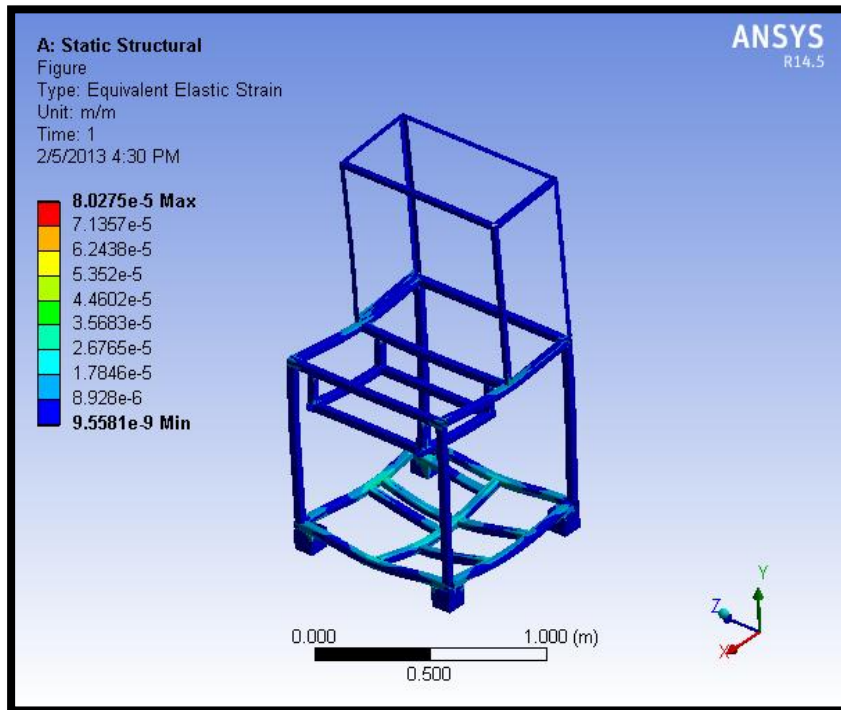
s: longitud inicial de la zona en estudio

s': longitud final o deformada.

En la figura del estudio se observa que la deformación unitaria con las cargas externas aplicadas es de 2.676e-5% y la deformación de material es de 21%. Por lo tanto:

$$\varepsilon_{estructura} < \varepsilon_{material}$$

Es viable su construcción.



Fuente: Grupo de Investigación.

Figura 92: Deformación unitariaequivalente de la estructura.

### c. FACTOR DE SEGURIDAD.

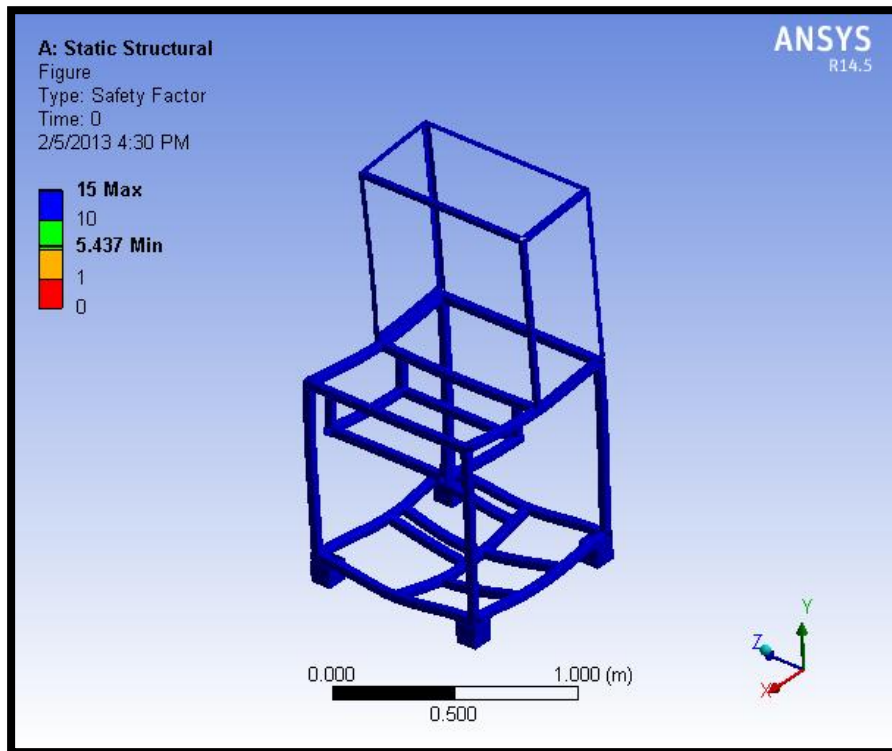
El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de:

$$Factor\ de\ seguridad\ FDS = \frac{Límete\ de\ tensión\ del\ material}{Tensión\ Von\ Mises} = \frac{\sigma_{límite}}{\sigma_{VonMises}}$$

**Ecuación 10:** Factor de seguridad.

Los factores de seguridad altos en una región indican que puede guardar material de dicha región. Muchos códigos requieren un factor de seguridad mínimo entre 1.5 y 3.0.

En el diseño realizado se obtuvo un factor de seguridad (FDS) mínimo de 5.437, es un factor de seguridad alto, por lo tanto la estructura está apta para la construcción.



Fuente: Grupo de Investigación.

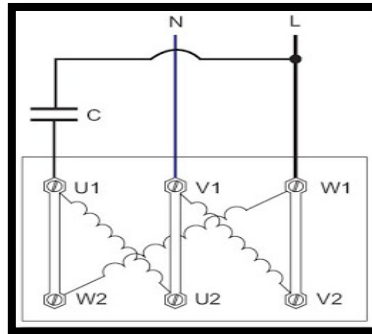
Figura 93: Factor de Seguridad de la estructura.

#### 4.13. DISEÑO DE LA CONEXIÓN ELÉCTRICA.

##### 4.13.1. INSTALACIÓN 220V PARA MOTORES TRIFÁSICOS.

Debido a que en la mayoría de hogares y sitios de trabajo industrial no cuentan con una red trifásica, se recurre a realizar una instalación con alimentación de 220v para motores trifásicos mediante la utilización de condensadores de arranque, aunque es naturalmente imposible obtener las mismas condiciones originales de funcionamiento. Sin embargo este sistema permite ampliar el campo de aplicación de determinado tipo de herramientas y maquinaria.

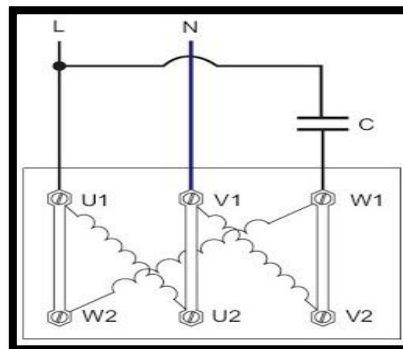
**CONEXIÓN EN TRIÁNGULO.** Se emplea para lograr un rendimiento óptimo en el arranque de un motor con alimentación de 220V. Figura 94.



**Fuente:** <http://juganett.blogspot.com/2011/01/como-conectar-un-motor-trifasico-400v>.

**Figura 94.** Conexión en triángulo con alimentación de 220V.

Para invertir el giro del motor, se procede a cambiar el condensador de bobina. Figura 95.

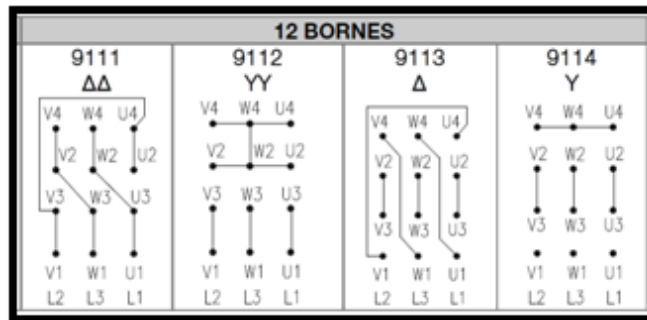


**Fuente:** <http://juganett.blogspot.com/2011/01/como-conectar-un-motor-trifasico-400v>.

**Figura 95:** Conexión para invertir el giro del motor.

#### 4.13.2. ESQUEMA DE CONEXIÓN SEGÚN LA NORMA IEC60034-8.

Los siguientes esquemas de conexión muestran la identificación de los terminales en la caja de conexiones y las conexiones posibles para el estator (fases) y el rotor de los motores de inducción trifásicos de anillos. Los esquemas de conexión se encuentran en la placa de identificación del motor que está marcado como en la figura 96.

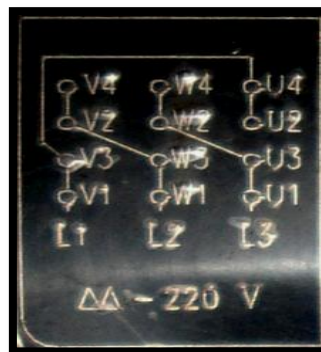


Fuente: www.weg.net

Figura 96: Cuadro de instalaciones del motor norma IEC60034-8.

#### 4.13.3. CONEXIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA LA APLICACIÓN.

1. Identificar el diagrama de conexión en triángulo a 220 V, que se encuentra en la placa del motor eléctrico. Figura 97.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 97: Placa de instalación 220v conexión en triángulo.

2. Abrir la caja de conexiones, se divisa seis tuercas de conexión, las cuales sujetaremos a los cables según la imagen especificada para una conexión con entrada de 220v. Figura 98.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 98:** Cuadro de instalación 220v para la aplicación

3. La conexión de los cables se los realiza fácilmente siguiendo las instrucciones de la figura 97 pues cada cable está señalizado y la base del tornillo también tiene su respectivo número y letra.

Para un motor trifásico conectado a una red monofásica 220V por medio de la utilización de condensadores, se puede esperar el siguiente rendimiento.

- Par de arranque: del 25 al 30% del par nominal
- Potencia máxima: del 70 al 80% de la potencia nominal.

Tabla No 33: Eficiencia estándar de motores trifásicos WEG.

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I/ In	Par con rotor trabado Tl/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm <sup>2</sup> )	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	440 V						Corriente nominal In (A)	
								Caliente	Frio			% de la potencia nominal			RPM				
												Rendimiento		Factor de potencia					
kW	HP	50	75	100	50	75	100												
IV Polos - 1800 rpm - 60 Hz																			
0,09	0,12	63	0,499	5,2	3,2	3,4	0,00045	22	48	7,0	48	1725	45,0	53,0	55,0	0,44	0,52	0,61	0,352
0,12	0,16	63	0,667	4,5	3,0	3,2	0,0004	27	59	7,0	48	1720	47,0	55,0	57,0	0,46	0,55	0,62	0,445
0,18	0,25	63	1,01	4,5	2,8	3,0	0,00045	22	48	7,5	48	1710	55,0	63,0	64,0	0,47	0,57	0,65	0,570
0,25	0,33	63	1,40	4,5	2,9	2,9	0,00068	25	55	8,0	48	1710	59,0	64,0	67,0	0,48	0,59	0,68	0,720
0,37	0,5	71	2,10	4,3	2,3	2,5	0,00079	12	26	10,0	47	1680	58,0	65,0	68,0	0,46	0,59	0,69	1,04
0,55	0,75	71	3,13	4,8	2,5	2,5	0,00096	12	26	11,5	47	1680	65,0	69,0	72,0	0,48	0,61	0,71	1,41
0,75	1	80	4,17	6,7	2,6	2,9	0,0025	12	26	12,5	48	1720	74,0	78,0	78,2	0,60	0,73	0,81	1,56
1,1	1,5	80	6,15	6,4	2,5	2,8	0,0030	9	20	14,0	48	1710	76,0	79,0	79,2	0,61	0,74	0,81	2,25
1,5	2	90S	8,28	6,4	2,5	2,8	0,0049	10	22	18,5	51	1730	80,5	81,5	82,0	0,59	0,71	0,79	3,04
2,2	3	90L	12,2	5,7	2,1	2,4	0,0060	9	20	22,0	51	1720	82,0	83,0	83,1	0,62	0,74	0,81	4,29
3	4	100L	16,8	6,0	2,4	2,7	0,0082	12	26	30,0	54	1710	83,5	84,0	84,1	0,63	0,76	0,81	5,78
3,7	5	100L	20,7	6,4	2,7	2,9	0,0097	11	24	33,0	54	1710	85,0	85,5	85,5	0,63	0,75	0,81	7,01
4,5	6	112M	24,6	6,7	2,1	2,8	0,0156	15	33	42,0	58	1750	86,0	86,5	86,2	0,63	0,75	0,81	8,43
5,5	7,5	112M	30,2	6,0	2,0	2,7	0,0167	11	24	43,0	58	1740	86,0	87,0	87,0	0,61	0,74	0,80	10,3
7,5	10	132S	40,8	7,2	2,1	2,8	0,0413	8	18	63,0	61	1755	86,5	88,0	87,5	0,67	0,78	0,83	13,6
9,2	12,5	132M	50,1	7,5	2,2	2,9	0,0488	7	15	70,0	61	1755	87,5	88,5	88,0	0,67	0,79	0,83	16,5
11	15	132M	59,9	8,3	2,3	2,8	0,0563	6	13	73,0	61	1755	87,0	88,5	88,6	0,68	0,80	0,83	19,6

Fuente: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/weg-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-latinoamericano-50024297-catalogo-espanol.pdf>

**a. CORRIENTE DE CONSUMO PARA EL MOTOR ELÉCTRICO 220/380.**

$$IP = \frac{P}{E.FP.N} \text{ Ecuación 11: Corriente de consumo del motor eléctrico.}$$

**Dónde:**



- IP = Corriente nominal o a plena carga que consume un motor (A).
- P = Potencia que desarrolla un motor (W).
- E = Tensión a la que se conecta el motor (V).
- FP = Factor de potencia.
- N = Rendimiento del motor.

La corriente para un motor trifásico conectado a 220 o 380 volts se afecta en el denominador por la raíz cuadrada de 3.

$$IP = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot E \cdot FP \cdot N} \quad \text{Ecuación 12: Corriente de consumo del motor eléctrico trifásico.}$$

Para calcular la corriente que consume nuestro motor trifásico a una tensión de 220 V y trabajando al 75%, se recurre a la placa de identificación y a la Tabla No 33 para determinar los datos necesarios como: potencia 10 hp; factor de potencia 0.78 y rendimiento de 0.88

#### DATOS.

IP = ?

E = 220

F.P = 0.78

n = 0.88

P = 7500 W = 10 H.P.

$$IP = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,88}$$

$$IP = 28,67 A.$$

#### b. POTENCIA ABSORBIDA POR EL MOTOR (KW/H).

$$P_{abs} = \frac{P(w)}{n} \quad \text{Ecuación 13: Potencia absorbida por el motor.}$$

**Dónde:**

- N = Rendimiento del motor
- P = Potencia del motor

$$P. abs = \frac{7500W}{0.88}$$

$$P. abs = 8522.72W$$

$$P. abs = 8.5KW$$

**c. EFICIENCIA DEL MOTOR.**

Es la medida de la capacidad de un motor eléctrico para convertir la energía eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil.

$$E = \frac{P.mecánica}{P.eléctrica} * 100$$

**Ecuación 14:** Eficiencia del motor eléctrico.

$$E = \frac{7500 (W)}{8500(W)} * 100$$

$$E = 88\%$$

**d. RENDIMIENTO (N) DEL MOTOR.**

Entendemos como rendimiento de un motor el cociente entre su potencia útil o desarrollada en el eje (este dato lo proporciona el fabricante mediante la placa de características del motor) y la potencia total o absorbida de la red, el resultado nos lo da en tanto por uno, que si multiplicamos por 100 nos dará el resultado en tanto por ciento.

$$n = \frac{P. salida}{P. entrada} * 100$$

$$n = \frac{7.5(KW)}{8.5(KW)} * 100$$

$$n = 88\%$$

La potencia del motor necesaria para la aplicación es de 7.5HP, sin embargo contamos con un motor trifásico de 10HP a una red de 220V por medio de condensadores con los cuales obtuvimos un rendimiento del 88%. Para nuestra aplicación la potencia aproximada será de 6.6KW (8.8HP) que satisface los requerimientos del sistema.

Realizamos una regla de tres.

$$\frac{7.5KW}{x} = \frac{100\%}{88\%}$$

$$x = 6.6KW$$

#### e. PÉRDIDAS EN EL MOTOR ELÉCTRICO.

Solo una parte de la energía primitiva se transforma en la energía deseada; otra parte (12%) se transforma en pérdidas de energía, generalmente como calor.

**Pérdidas = P. eléctrica – P. mecánica** Ecuación 15: Pérdidas.

$$Pérdidas = 8.5KW - 7.5KW$$

$$Pérdida = 1KW$$

#### f. PAR MOTOR.

**P = M \* w** Ecuación 16: Par motor.

**Dónde:**

- P=Par motor (W)
- M= par motor (N.m)
- W= velocidad angular (rad/seg)
- 1760RPM= 184.306 rad/seg

$$M = P/w$$

$$M = \frac{6600W}{184.306\text{rad/sg}}$$

$$M = 35.81 \text{ N.m}$$

Se denomina arranque de un motor al régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del mismo desde el estado de motor detenido hasta el de motor girando a la velocidad de régimen permanente.

El conjunto que se pone en marcha es inercial y disipativo, incluyendo en este último concepto a las cargas útiles, pues consumen energía. El estudio del arranque de los motores tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores eléctricos y arrancadores a instalar, están basados en el conocimiento de las particularidades de éste régimen transitorio.

$$T_m - T_r = J * w \text{ Ecuación 17: Par resistente.}$$

**Dónde:**

- T<sub>m</sub> = Par motor (N.m)
- T<sub>r</sub> = Par resistente (N.m)
- J = Inercia (J/kg.m<sup>2</sup>)

$$35.81 \text{ N.m} - T_r = 0.413 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{m}^2 * 184.306 \text{ rad/sg}$$

$$T_r = -35.8154 \text{ N.m}$$

Por lo tanto, para que el conjunto comience a girar se necesita que el par motor supere al par resistente, de manera de generar una aceleración angular de arranque, en este caso el par de arranque no supera al resistente.

$$T_m < T_r$$

$$35.812 N.m < 35.8154 N.m$$

Realizamos una regla de tres para saber su porcentaje de pérdida en el arranque, y mediante pruebas realizadas determinaremos el condensador y su capacidad.

$$\frac{40.8}{35.812} = \frac{100\%}{x}$$

$$x = 87\%$$

#### 4.13.4. SELECCIÓN DEL CONDENSADOR DE ARRANQUE.

Los condensadores se utilizan para el arranque de motores eléctricos. Tiene altos valores de capacidad para su pequeño tamaño por lo que pueden generar un gran torque de arranque, funcionando por tiempo limitado.

Cuando son utilizados en motores eléctricos, se debe colocar algún dispositivo mecánico o electrónico que los desconecte después del arranque. “Los valores aproximados de la capacidad del condensador necesario se indican en la siguiente tabla 34. Una manera fácil de calcular un condensador es la de aplicar 70uf por cada KW de potencia y la tensión debe ser superior a la de la red, en este caso tendremos que usar condensadores de 250-400V.”<sup>[10]</sup>

**Tabla No. 34:** Capacidad del condensador.

---

[<sup>10</sup>] <http://juganett.blogspot.com/2011/01/como-conectar-un-motor-trifasico-400v.html>

Tensión red (V)	Condensador C	Tensión condensador U <sub>C</sub>
220 V	~ 70 μF/kW	~ 250 V
110 V	~ 240 μF/kW	~ 125 V
380 V	~ 22 μF/kW	~ 430 V

Fuente: [http://www.lifasa.com/descargas/es/not\\_tec\\_motor\\_e.pdf](http://www.lifasa.com/descargas/es/not_tec_motor_e.pdf)

$$\frac{1000W}{7500W} = \frac{70\mu f}{x}$$

$$x = \frac{7500W * 70\mu f}{1000W}$$

$$x = 525\mu f$$

Para la aplicación se utilizaron los siguientes condensadores:

#### a. CONDENSADOR DE ARRANQUE MARCA EPCOS

Se utilizaron tres capacitores para el arranque de 500uf, 500uf y 50uf los cuales poseen las siguientes características:

- Tipo CA 50/60 Hz.
- Un 250 V ~ / Up 275 V ~
- B42705-A2507-A0.
- 20/65/21.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 99: Capacitores de arranque.

#### b. CAPACITORES PERMANENTES EPCOS (3)

Son utilizados para corrección del factor de potencia en instalaciones industriales, están constantemente ayudando al motor si hay una pérdida de voltaje, usando tres capacitores de 200uf, 150uf y 175uf.

Características:

- Tipo CA 50/60Hz
- 250-400V



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 100: Capacitores permanentes.

#### 4.13.5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA EL MOTOR ELÉCTRICO.

Los fusibles y los interruptores termomagnéticos son las protecciones que se utilizan en las instalaciones eléctricas, para proteger ya sea el cable o la carga a la cual están alimentando y se debe mantenerlos en buen estado para lograr un funcionamiento óptimo de la instalación eléctrica.

“La tabla siguiente nos proporciona la corriente que consume un motor en las tensiones de 115, 220 y 440 volts así como la protección que debe utilizar ya sea utilizando un fusible o un interruptor termo magnético, los cuales podemos calcular de la siguiente forma”: [11]

Tabla No. 35: Corriente de consumo del motor, fusible y protección.

		115V			220v			440v		
HP	KW	I (nom)	FUS	PROT	I (nom)	FUS	PROT	I (nom)	FUS	PROT
7.5	5.60	80	160	200	22	40	63	11	20	32
10	7.46	100	200	250	28	50	80	14	25	40
15	11.2	131	250	350	42	80	125	21	40	63

Fuente: [http://ramonmar.mex.tl/848681\\_TABLA-DE-AMPERAJES-DE-MOTORES.html](http://ramonmar.mex.tl/848681_TABLA-DE-AMPERAJES-DE-MOTORES.html).

##### a. CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN (FUSIBLE).

$$I_f = K * I_n \text{Ecuación 18: Protección fusible.}$$

Dónde:

$I_f$  = Corriente de protección de los fusibles.

$k$  = Constante de protección la cual se toma en el rango de 1.8 a 2.1

$I_n$  = Corriente nominal o a plena carga.

[11] [http://www.ramonmar.mex.tl/859317\\_EJEMPLO-DE-CALCULO-DE-PROTECCIONES-.html](http://www.ramonmar.mex.tl/859317_EJEMPLO-DE-CALCULO-DE-PROTECCIONES-.html)

$$I_f = 1.8 * 28A = 50.4 A.$$

**b. CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN DEL INTERRUPTOR MAGNETO-TÉRMICO.**

$$I_p = C * I_n$$

**Ecuación 19:** Protección interruptor magnético-térmico.

**Dónde:**

**IP** = Corriente de protección.

**C** = Constante de protección la cual se toma en el rango de 2 a 3

**In** = Corriente nominal o a plena carga

$$I_p = 2.5 * 28.6$$

$$I_p = 71 A$$

Equivalente: 80 A

**c. INTERRUPTOR MAGNETO-TÉRMICO DISYUNTOR.**

La utilización de este término puede variar en distintas regiones para referirse a interruptores automáticos accionados por sobrecargas de un circuito o para interruptores automáticos accionados por pérdidas de energía fuera del circuito.

Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica.

Mecánicamente, podemos decir que estos interruptores disponen de desconexión libre, es decir, que cuando se produce una desconexión, ya sea por sobrecarga o cortocircuito, el aparato desconecta aunque se sujete la manecilla de conexión.



Se selecciona un disyuntor marca Shender 80 A para 220v.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 101: Disyuntor 80 A para 220v.

#### d. RELÉ TÉRMICO.

Son protectores térmicos con contactos de plata, normalmente cerrados, que se abren cuando ocurre determinada elevación de temperatura. (Sobrecargas generalmente son procesos que hacen que la temperatura se eleve gradualmente.)

Cuando la temperatura de actuación del bimetálico baja, este vuelve a su forma original instantáneamente, permitiendo el cierre de los contactos nuevamente. Los protectores térmicos del tipo bimetálico son instalados en serie con la bobina del contactor, pudiendo ser utilizados como alarma y desconexión

Se selecciona un relé térmico marca Ls (MT-32) de 80A.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 102: Relé térmico Ls (MT-32).

#### e. CONTACTOR.

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

### **Elección del contactor:**

Cuando se va a elegir un Contactor hay que tener en cuenta, entre otros factores, lo siguiente:

- Tensión de alimentación de la bobina: 220 V.
- Número de veces que el circuito electromagnético va a abrir y cerrar: trabajo al 80%
- Corriente que consume el motor de forma permanente (corriente de servicio): 28,6A

Se selecciona un contactor modelo GMC-40 AC3 /220V/LG.

### **Características Generales:**

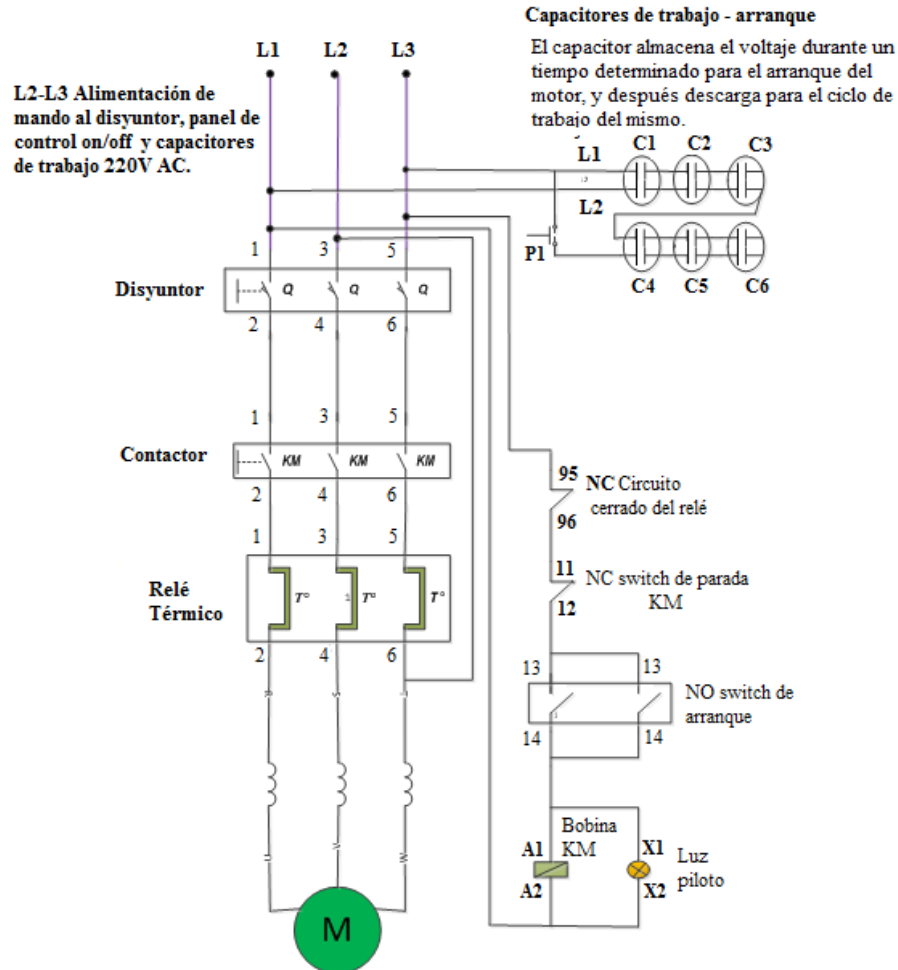
- Número de polos principales: 3
- Tipo de montaje: riel DIN
- Contactos auxiliares: 1NA+1NC
- Accesorios de montaje frontal y lateral.
- Corriente nominal AC3: 40A
- Potencia: 7.5Kw/230VAC
- Corriente térmica AC1: 60A
- Voltaje de trabajo de la bobina: 220VAC
- Dimensiones: 68mm (Ancho) x 82mm (Alto) x 94.5mm (Prof.)



**Fuente:** Grupo de investigación.

Figura 103: Contactor GMC-40 AC3 /220V/LG.

#### 4.13.6. DIAGRAMA DE INSTALACIÓN.



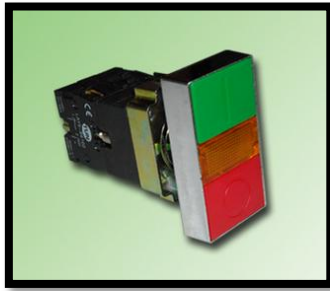
Fuente: Grupo de investigación.

Figura 104: Diagrama de instalación del motor trifásico.

**NOTA:** Si el par de arranque es insuficiente, se puede mejorar añadiendo un condensador de arranque, de valor de capacidad aproximadamente doble al indicado. Este condensador debe dimensionarse tras efectuar ensayos de aplicación real.

#### 4.13.7. MATERIALES USADOS EN LA INSTALACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.

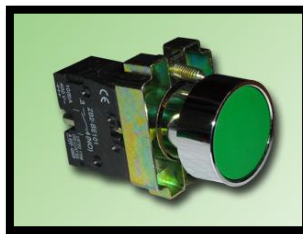
- Pulsador partir/parar luminoso 220v.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 105:** Pulsador luminoso 220v.

- Pulsador rasante color verde 220v.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 106:** Pulsador rasante 220v.

- Prensa estopa para cable # 10.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 107:** Prensa estopa cable 10.

- Cable conductor.

**Tabla No. 36:** Tabla AWG de calibre de conductores y amperaje máximo.

Codigo AWG	Diametro del conductor (mm)	Ohmios por kilometro	Amperaje maximo para distancias cortas	Amperaje maximo para distancias largas
OOOO	11.684	0.16072	380	302
OOO	10.40384	0.202704	328	239
OO	9.26592	0.255512	283	190
0	8.25246	0.322424	245	150
1	7.34822	0.406392	211	119
2	6.54304	0.512664	181	94
3	5.82676	0.64616	158	75
4	5.18922	0.81508	135	60
5	4.62026	1.027624	118	47
6	4.1148	1.295928	101	37
7	3.66522	1.634096	89	30
8	3.2639	2.060496	73	24
9	2.90576	2.598088	64	19
10	2.58826	3.276392	55	15
11	2.30378	4.1328	47	12
12	2.05232	5.20864	41	9.3
13	1.8288	6.56984	35	7.4
14	1.62814	8.282	32	5.9
15	1.45034	10.44352	28	4.7
16	1.29032	13.17248	22	3.7
17	1.15062	16.60992	19	2.9
18	1.02362	20.9428	16	2.3
19	0.91186	26.40728	14	1.8

**Fuente:** <http://asterion.almadark.com/2010/05/31/calibre-de-conductores-y-su-amperaje-maximo/>

Se procedió a utilizar el cable flexible color azul y negro # 14 AWG, 0.3KV, 90° para las de protecciones del motor y control de encendido.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 108:** Cable flexible para la conexión # 14.

Se procedió a usar Cable negro 3x10 AWG 105°C para las estradas de tención al motor.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 109:** Cable negro 3x10 AWG 105°C.

#### **4.14. DISEÑO ELECTRÓNICO.**

##### **4.14.1. UNIDAD DE CONTROL.**

Contiene toda la circuitería necesaria para el funcionamiento total del banco H.E.U.I., consta de los siguientes módulos: una fuente de alimentación para dispositivos electrónicos, una fuente de potencia para la activación de los inyectores, una tarjeta de medición de temperatura y tarjeta principal para todas las funciones.

##### **4.14.2. COMPONENTES DE LA UNIDAD DE CONTROL.**

###### **a. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5 - 12V.**

Es utilizada para la alimentación de los dispositivos electrónicos.



**Fuente:** Grupo de investigación

**Figura 110:** Fuente de alimentación de 5 - 12 VCD.

## CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE ALIMENTACIÓN DE 12V.

Tabla No. 37: Características de operación de la fuente de alimentación de 12 VCD.

Características de la fuente de alimentación	
Utilización	Diseñada para suministrar energía a los dispositivos electrónicos
Alimentación y consumo	120VAC-60Hz
Voltaje de salida DC	5- 12 V.
Corriente salida	0.8 y 2.6 A

Fuente: Grupo de investigación.

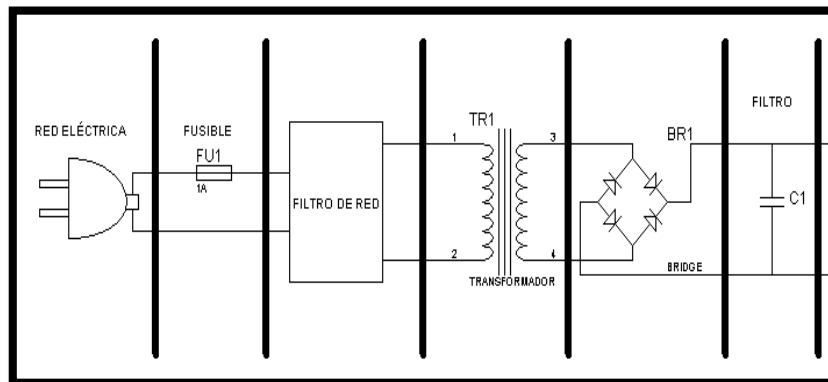
### b. FUENTE DE POTENCIA PARA LA ACTIVACIÓN DE LOS INYECTORES.

Es el circuito que suministra alimentación a los inyectores que se necesitan probar. La tensión que suministra la red eléctrica es alterna (AC) y excede en mucho el voltaje necesario para activar algún dispositivo, por lo que se debe insertar un circuito electrónico que transforme, el voltaje y tipo de corriente de la red (120v AC en Ecuador ) en voltaje y tipo de corriente ( AC o DC ) necesario para un circuito.

#### Funcionamiento

El circuito se alimenta por la red eléctrica, pasa por un fusible de protección que evita sobrecargas y llega al transformador, el cual permite transformar una tensión alterna de entrada en una tensión alterna de salida de distinto valor. A continuación en la siguiente fase, se pasa de voltaje alterno VCA a voltaje continuo VCC, a través de un elemento llamado puente rectificador de diodos y dispositivos de voltaje continuo

La señal rectificadora pasa por una fase de filtrado para eliminar al máximo las oscilaciones, esto se consigue por medio de condensadores, que retienen la corriente y la dejan pasar lentamente para suavizar la señal. Figura 111.



Fuente: [http://www.mcbtec.com/fuentes\\_lineales.htm](http://www.mcbtec.com/fuentes_lineales.htm)

Figura 111: Fuente de alimentación para activar los inyectores.

Para la activación de los inyectores H.E.U.I. es necesario una energía de alimentación de 80 voltios de c.c. a un máximo de 10 A. Por lo tanto nuestro sistema de alimentación y potencia está diseñado dentro de estos parámetros.

$$\text{Factor de potencia} = V \cdot \sqrt{2}$$

$$\text{Factor de potencia} = 80V \cdot \sqrt{2} \quad \text{Ecuación 20: Factor de potencia del transformador.}$$

$$\text{Factor de potencia} = 113.137V$$

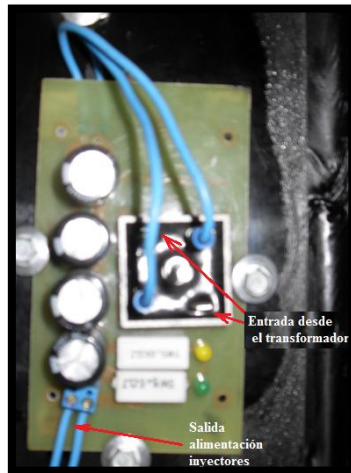
## CARACTERÍSTICAS DE POTENCIA.

Tabla No. 38: Características de operación de la fuente de potencia.

Características de la fuente de alimentación	
Utilización	Diseñada para suministrar energía a los inyectores HEUI
Alimentación y consumo	120VAC-60Hz
Voltaje de salida DC	80 V.
Corriente salida	10 A.
Protección	Contra sobrecargas y cortocircuitos
CONECTORES	Inserción por cable o borneras

Fuente: Grupo de investigación





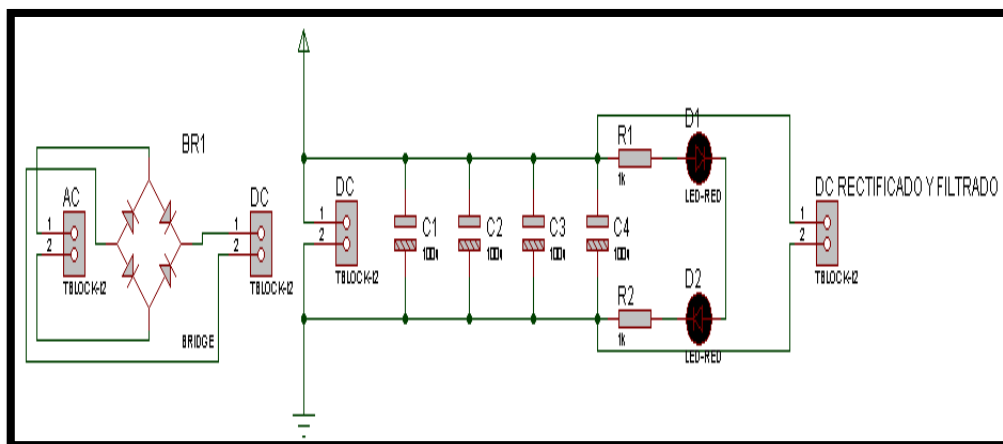
Fuente: Grupo de investigación

Figura 112: Fuente de potencia para los inyector.

**Nota1.**La fabricación de la tarjeta se realizó con un solo lado de recubrimiento de cobre, marcador permanente, hoja de transferencia térmica y percloruro férrico para su devastado.

**DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.**

La fuente de alimentación para los inyector, previamente se calculó para los fines de trabajo del sistema, con una adición de diodos led para verificación de presencia de energía en el sistema de potencia. La placa se muestra a continuación:

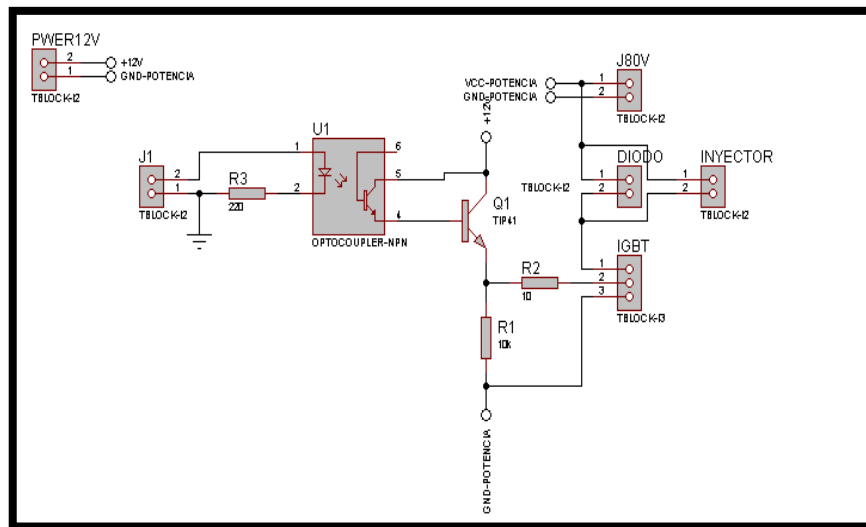


Fuente: Grupo de investigación.

Figura 113: Diagrama de la fuente de potencia para los inyector.

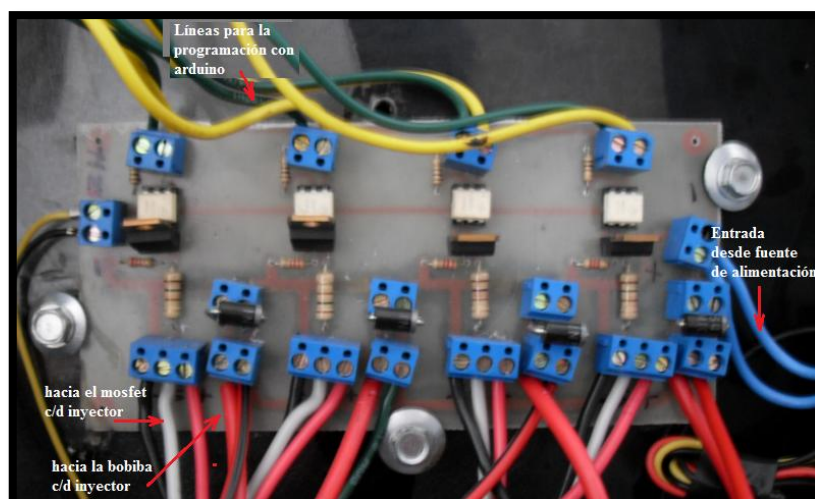
## CIRCUITO OPTOACOPLADOR PARA EL CONTROL DE LOS MOSFETS DE ACTIVACIÓN DE LOS INYECTORES.

El optoacoplador permite un acoplamiento óptico y un aislamiento eléctrico del sistema digital y de potencia, ya que si ocurre un corto en la etapa de potencia o una anomalía eléctrica, el optoacoplador protege toda la circuitería digital de control.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 114: Circuito optocoplador 4n25 y Mosfet IRF.

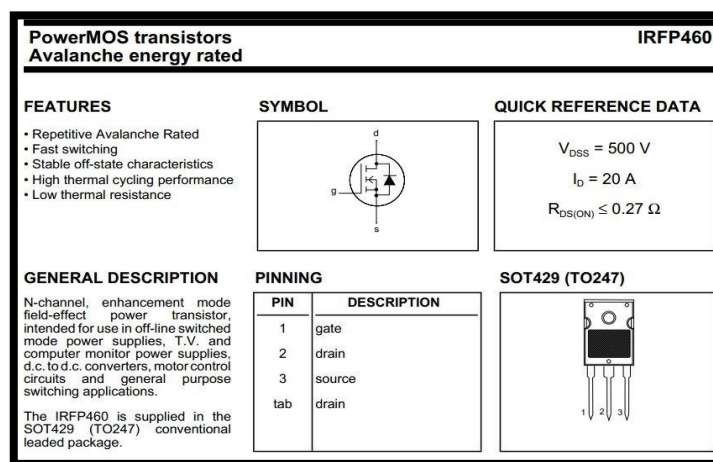


Fuente: Grupo de investigación.

Figura 115: Circuito optocoplador 4n25.

En las figuras 114 y 115 se puede observar las borneras de alimentación de 5v, la entrada digital desde la placa arduino, la alimentación de 80v en corriente directa, la bornera del inyector con su correspondiente diodo y la bornera del Mosfet que es nuestro elemento de potencia en sí.

Para el diseño de las placas de potencia se implementaron Mosfets de potencia en este caso los IRFP460 que tienes las siguientes características:

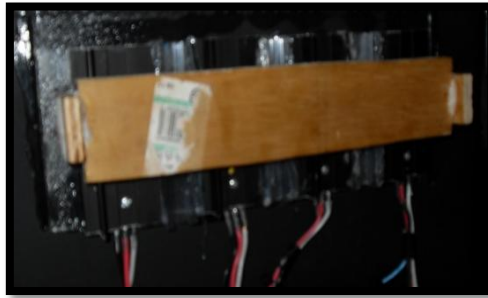


**Fuente:** Grupo de investigación

**Figura 116:** Mosfet IRF utilizado para la aplicación.

Se escogió este tipo de mosfet, ya que los voltajes y corrientes de trabajo son suficientes para el manejo del inyector alrededor de 500 voltios de trabajo y 20 amperios de paso de corriente y nuestro sistema necesita una fuente de 80 a 110v y una corriente por inyector de 10 amperios, por consiguiente tenemos cubierto cada salida del inyector.

Para poder activar al Mosfet basta aplicar un voltaje de activación digital al pin Gate del mismo para utilizarlos en corte y saturación y así obtenemos un switch electrónico capaz de manejar a un inyector de estas características, para lo cual se implementó el circuito opto acoplador por un 4n25.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 117: Mosfet de activación para los inyectores.

## CARACTERÍSTICAS CIRCUITO OPTOACOPLADOR 4N25 DE DEL CONTROL DE LOS MOSFETS DE POTENCIA.

Tabla No. 39: Características del circuito optoacoplador 4n25.

Características de la fuente de alimentación	
Utilización	Diseñada para acoplamiento óptimo y un aislamiento eléctrico del sistema digital y de potencia.
Alimentación y consumo	5V, 12 VCD y 115 VCD
Canales de control	4
Protección	Contra sobrecargas y cortocircuitos en cada inyector
Conectores	Inserción por cable borneras

Fuente: Grupo de investigación.

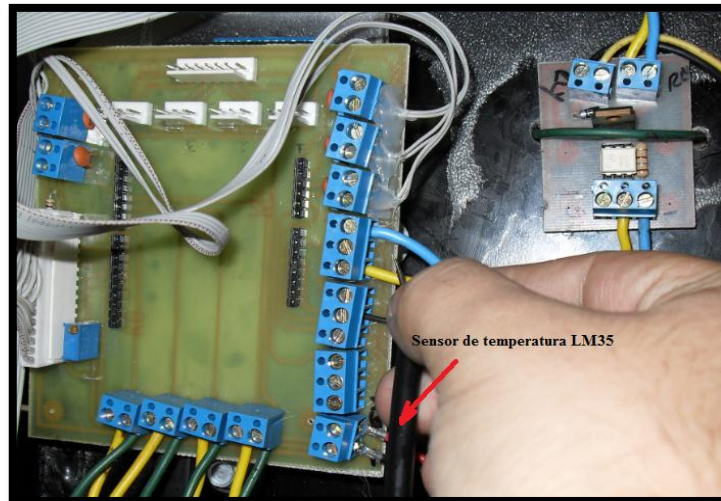
### c. CIRCUITO DE CONTROL DE LA TEMPERATURA.

Este circuito permite leer la temperatura del líquido de limpieza y asegurar el funcionamiento óptimo del inyector, con el objetivo de mantener la entrega sólida del combustible a pesar de los cambios de viscosidad causados por la variación de la temperatura del fluido de calibración y prolongar su vida útil.

Está compuesto por dos sensores de temperatura, situados en la parte de succión y retorno del tanque de aceite. Como sensores de temperatura se utilizó el LM35, que es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C.

Su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV, por lo tanto:

- $150^{\circ}\text{C} = 1500\text{mV}$
- $-40^{\circ}\text{C} = -400\text{mV}$

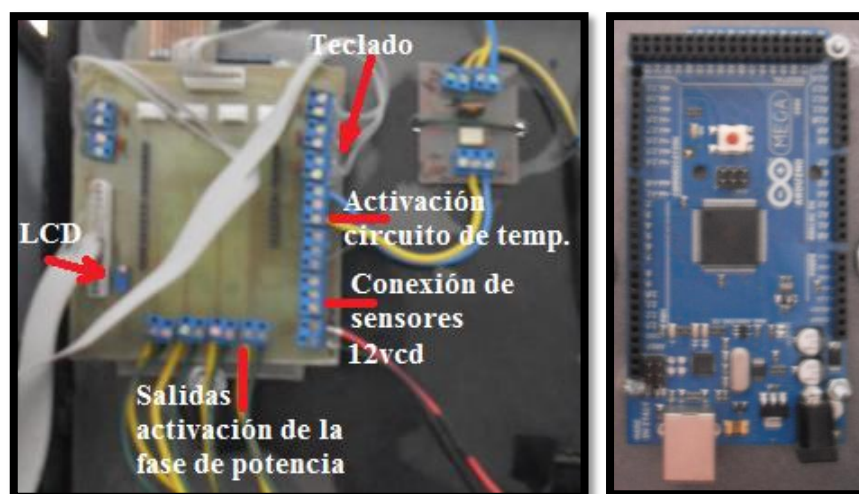


Fuente: Grupo de investigación.

Figura 118: Conexión del sensor de temperatura en la placa arduino.

#### d. TARJETA PRINCIPAL.

Es el encargado de ejecutar, enviar y recibir todas las señales del banco de pruebas H.E.U.I. El cerebro del diseño electrónico es una placa arduino con un microcontrolador Atmega 2560, que trabajaba en conjunto con los otros módulos para el funcionamiento del todo el sistema.

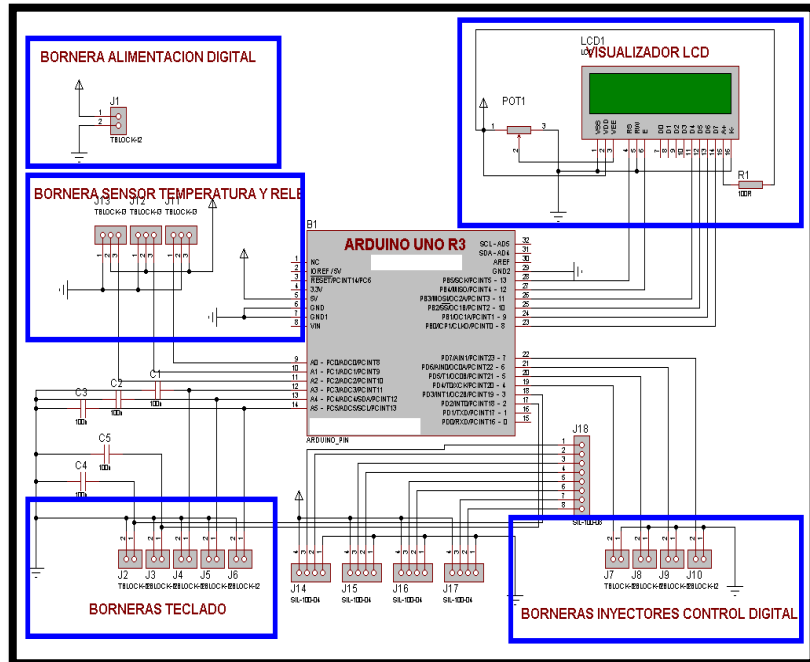


Fuente: Grupo de investigación.

Figura 119: tarjeta principal y placa arduino mega.

## DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA PRINCIPAL.

A continuación se presenta la imagen de la tarjeta principal con todos sus módulos y circuitos.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 120: Diagrama esquemático de la tarjeta principal.

Tabla No. 40: Características de la tarjeta principal.

Características de la tarjeta principal	
Utilización	Diseñada para enviar y recibir todas las señales para el funcionamiento de banco de pruebas
Alimentación y consumo	5VDC
Conectores	Inserción por cable o borneras
Señales analógicas	2 señales de temperatura 5 señales de teclado
Señales digitales	4 señales de activación de los inyectores. 6 señales para el LCD

Fuente: Grupo de investigación.

### 4.14.3. MODO DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I.

A continuación se describe la forma de operación del sistema de control para el del banco H.E.U.I. El banco está diseñado para realizar cuatro pruebas en diferentes modos.

Tabla No. 41: Modo de operación del sistema.

DESCRIPCIÓN	PRUEBA	DISPAROS	LINEA	PSI	T1(μs)
<b>MODO MANUAL</b>	Fuga y activación de la bobina	0	1	1500	1500
					500
<b>MODO AUTOMÁTICO</b>	Prueba A “Lavado de inyectores sucios”	1000	1234	1500	1500
	Prueba B “Entrega de combustible a alta presión”	1500	1234	2000	1500
	Prueba C “Entrega de combustible a baja presión”	1500	1234	870	700
<b>MODO USUARIO</b>	Lavado de inyectores sucios	Permite variar el número de disparaos	1234	1500	Permite variar el ciclo de trabajo
	Entrega de combustible a alta presión			2000	
	Entrega de combustible a baja presión			870	

Fuente: Grupo de investigación.

Al encender el control electrónico, en la pantalla LCD aparecen las siguientes opciones previamente descritas en la tabla 40. Con la ayuda de los navegadores se proceden a escoger las distintas pruebas a realizar, según la necesidad del operador.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 121: Menú del sistema para las pruebas.

**a. MODO MANUAL O TEST DE FUGA Y ACTIVACIÓN DE LA BOBINA.**

Modo utilizado para realizar la prueba de fuga y activación de la bobina, Esta prueba se realiza inyector por inyector, para una mejor visualización de la falla. Para habilitar o deshabilitar las señales de salida de cada

inyector se ha incorporado un conmutador on/off en cada línea de activación de la bobina según el inyector a probar.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 122: Conjunto de conmutadores en la señal de cada bobina del inyector.

A continuación se muestra el submenú desplegado en esta prueba, en la cual tenemos dos opciones:

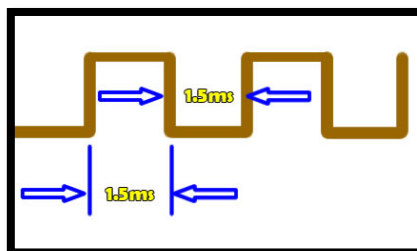


Fuente: Grupo de investigación.

Figura 123: Opciones para la prueba de fuga y activación de la bobina.

### Tiempo de activación de bobina en alto: Largo 1.5 ms.

Al seleccionar la opción de 1.5ms, significa que tenemos que abrir al inyector durante 1.5 milisegundos, que es un pulso aconsejado para la operación de los inyectores H.E.U.I. A continuación se muestra la forma de onda para el manejo de los tiempos:



Fuente: Grupo de investigación.

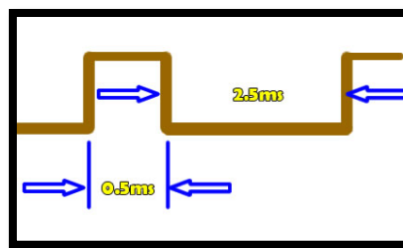
Figura 124: Ancho de pulso test de fuga 1.5ms en alto y en bajo.



En la figura anterior se visualiza el funcionamiento de apertura del inyector con el 50% de trabajo en alto y el otro 50% de trabajo en bajo, que es recomendado para pruebas de apertura de fuga, ya que si se deja demasiado tiempo abierto tiende a calentarse el bobinado del inyector y podemos provocar la destrucción del mismo por sobrecalentamiento, por tal razón se recomienda no tener demasiado tiempo de apertura en esta prueba.

**Tiempo de activación de bobina en alto: Corto 0.5 ms.**

Para la segunda opción, se tiene la siguiente forma de trabajo que es 0.5 milisegundos en alto y 2.5 milisegundos en bajo, por cuestiones de una segunda prueba de inyección que se implementó esta en el sistema:



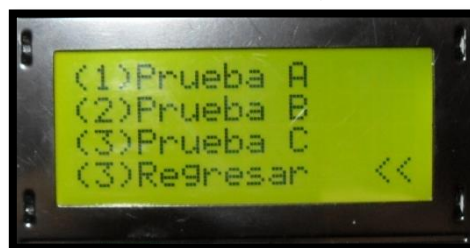
Fuente: Grupo de investigación.

Figura 125: Ancho de pulso test de fuga 0,5ms en alto y 2.5ms en bajo.

Al finalizar el modo manual se tiene la opción regresar, que retorna al menú principal para poder reutilizar al sistema para las demás pruebas.

**b. MODO AUTOMÁTICO.**

Dentro de este submenú se definen las siguientes tres tipos de pruebas:



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 126: Opciones de prueba para el modo automático.

- **Prueba A o Lavado de inyectores sucios.**

Trabaja con un periodo de 50% o lo que es lo mismo 1.5ms en alto y en bajo simulando unas 2000 RPM con un número de inyecciones de 1000 para la primera prueba.

- **Prueba B o Entrega de combustible a alta presión.**

Trabaja con un periodo de 50% en alto y en bajo, simulando unas 2000 RPM con un número de inyecciones de 1500 para la prueba.

- **Prueba C o Entrega de combustible a baja presión.**

Trabaja con un periodo de 0.7ms o 23.3% en alto y 1.300ms o 76.6% en bajo simulando unas 2000 RPM con un número de inyecciones de 1500 para la mencionada prueba.

**c. MODO DE PRUEBA USUARIO.**

El modo usuario es un agregado, en donde podemos realizar las pruebas descritas anteriormente de forma manual. Permite variar los siguientes parámetros:

- Número de repeticiones.
- Ciclo de trabajo.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 127:** Opciones de prueba para el modo usuario.

Dentro de este modo se puede escoger la cantidad de repeticiones que se quiere que el inyector trabaje que van desde 0 a 5000 como límite; un

manejo del ciclo de trabajo que va desde el 10% al 80% de apertura del inyector en un periodo total de trabajo de 3ms por ser este el adecuado para estos tipos de inyectores.

Las opciones regresar sirve para salir del submenú y la de aceptar sirve para cuando se han seleccionado los parámetros anteriores y enviar a ejecutar las respectivas pruebas en los inyectores.

## **CAPÍTULO V**

### **IMPLEMENTACIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I.**

## 5. IMPLEMENTACIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I.

### 5.1. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO.

Para la construcción del banco de pruebas, se realizaron cálculos para determinar que éste cumpla y satisfaga el correcto funcionamiento y establecer si el material seleccionado es el adecuado, que no esté expuesto a ningún tipo de deformaciones, sea resistente, seguro y ergonómico. Su diseño se realizó en base a la disposición de los elementos que lo constituyen.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 128: Esquema general.

#### 5.1.1. ESTRUCTURA METÁLICA.

Para la construcción de la estructura figura 129, se utilizó tubo estructural cuadrado cuyas medidas son de 1 ½ x 2 pulgadas de acero ASTM A36, el mismo que como se calculó en el capítulo IV satisface los esfuerzos a los que va ha ser sometido, este tubo viene con un largo de 6 metros para lo cual se procedió a realizar cortes conforme a las dimensiones de

diseño. Para la parte superior del banco, se utilizó ángulos 1 x 1/8, como soporte para el panel de instrumentos. Una vez cortado los tubos necesarios para la construcción, se procedió a unir mediante soldadura MIG, permitiendo así darle la forma a la estructura.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 129:** Estructura metálica del banco.

### 5.1.2. CUBIERTA.

Para la cubierta se utilizó planchas de acero cuyas medidas fueron 2.40x1.22 metros y 2 mm de espesor. Las planchas fueron cortadas y dobladas según las dimensiones requeridas en el diseño. Figura130.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 130:** Corte de la plancha con la cizalla hidráulica.

### 5.1.3. CONTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE ACEITE.

La forma del tanque es un prisma rectangular con las siguientes dimensiones: base 73 cm, altura 32cm y profundidad 34 cm, fabricado en

acero ASTM A36 Tiene un volumen de 3 veces el caudal de la bomba 75,15lt/min.

El depósito tiene los siguientes accesorios:

1. Reservorio.
2. Indicador de nivel y de temperatura máxima de 90 °C.
3. Tapón de vaciado.
4. Tapa de depósito y aireador.
5. Líneas de retorno.
6. Líneas de succión.
7. Baffle o separador interno (2/3 del nivel de aceite).



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 131: Construcción del depósito de aceite.

#### 5.1.4. ELEMENTO DE AJUSTE DE LOS INYECTORES H.E.U.I.

Está construida de un perfil en L, únicamente es utilizada para mantener en su asiento al inyector. Posee cuatro tornillos de ajuste, que se aplican sobre la cabeza del inyector.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 132: Construcción del depósito de aceite.

### 5.1.5. CONTRUCCIÓN DEL MECANISMO PARA VACIADO DE LAS PROBETAS.

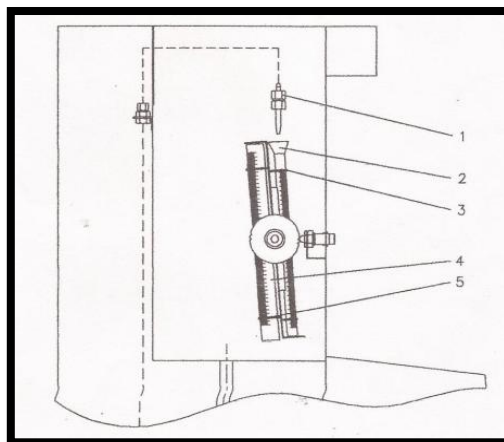
Las probetas se fijan sobre una plancha perforada mediante abrazaderas. El sistema para vaciar las probetas está formado por un eje soldado a la placa porta probetas, el cual se gira hacia a dentro para el vaciado del líquido de calibración a través de palancas.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 133: Mecanismo de vaciado de probetas.

**Nota.** Las líneas de entrega de combustible en el banco de pruebas H.E.U.I., cuentan con válvulas unidireccionales que impiden el retorno del líquido de calibración hacia el porta inyectores, evitando que este se derrame.



Fuente: Grupo de investigación.

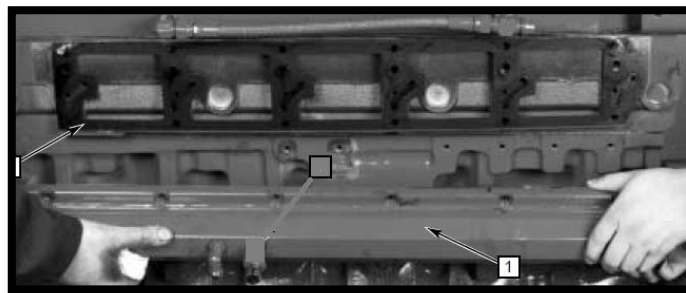
Figura 134: Líneas de entrega del fluido de calibración.

1. Válvulas check 2. Probeta graduada 3. Clip de sujeción.



### 5.1.6. CONSTRUCCIÓN DEL PORTAINYECTORES.

Para el porta inyectores del banco de pruebas, se utilizó un cabezote y múltiple de suministro original del camión International DT 530E con sistema de inyección H.E.U.I. El cabezote fue modificado utilizándose sólo la parte que aloja a los inyectores. El múltiple de suministro se ensambló al cabezote mediante 8 pernos M10, con un torque de 27 Nm.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 135:** Instalación del múltiple de suministro al porta inyectores.

Partes de la galería de aceite: entrada de presión de inyección (1), entrada de la presión de combustible (2), pernos de ajuste (3).Figura136.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 136:** Partes de la galería de aceite.

Finalmente se procedió a realizar la operación de pintado, para evitar corrosión.

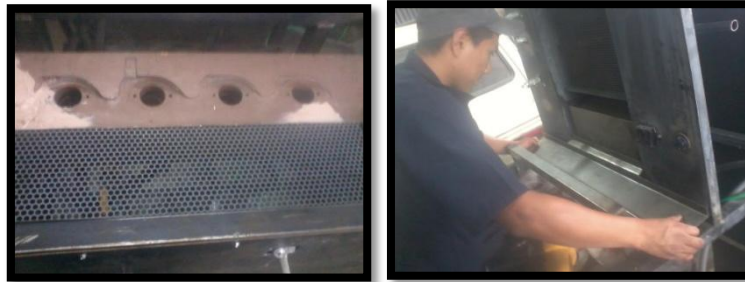


Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 137:** Corte y pintado del porta inyectores.

### 5.1.7. MONTAJE DE LA CUBIERTA Y ADITAMENTOS.

El montaje de la cubierta se realizó una vez perforada las tapas para el montaje de los elementos hidráulicos, eléctricos y electrónicos.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 138:** Ensamblado de tapas.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 139:** Ensamblado de la cubierta.

### 5.1.8. ACABADOS.

Se procedió a pintar la estructura para evitar que se corroa o se oxide con el paso del tiempo.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 140:** Fase de pintura.

### 5.1.9. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PORTA INYECTORES.

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I."											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO							FECHA: 10-06-2012				
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: PORTA INYECTORES.											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMP O	NUM	TIEMP O	NUM				
	OPERACIONES	13	9					<b>ESTUDIADO POR :</b> CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA			
	TRANSPORTE	4	1								
	INSPECCIONES	9	8								
	RETRASOS	9	2								
	ALMACENAM	0.1	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALAMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/JUN	CÁLCULOS DE TIEMPO COSTO
1	ADQUISICIÓN DE LA MATRIZ DE INYECTORES	AUTO								4	
2	CORTE DE LA MATRIZ	PLASMA								5	
3	MODIFICACIÓN DE LA MATRIZ	TALADRO								2	
4	MACILLA	MACILLAR								0.2	
5	PULIR	PULIDORA								0.3	
6	SOLDAR	MIG								1	
7	LIMPIAR	AIRE COMPRIDO Y ESPONJA								0.1	
8	PINTAR	HORNO								0.2	
9	ENSAMBLAR	TORCÓMETRO								0.2	
10	ALMACENAR	TALLER								0.1	

### 5.1.10. DIAGRAMA DE PROCESO PARA ESTRUCTURA METÁLICA.

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I."											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO								FECHA: 20-09-2012			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: ESTRUCTURA METÁLICA.											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
	OPERACIONES	10.7	9								
	TRANSPORTE	4	2								
<input type="checkbox"/>	INSPECCIONES	10.7	9					ESTUDIADO POR : CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA			
	RETRASOS	5.3	4								
	ALMACENAM	0.1	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALAMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/JUN	CÁLCULOS DE TIEMPO COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	AUTO								3	
2	CORTE	CIZALLA								1	
3	SUELDA	MIG								1	
4	MECANISMO PARA PROBETAS	MIG								1	
5	ELEMENTO DE AJUSTE	MIG								2	
6	PERFORAR	CALADORA								0.2	
7	MACILLAR	MACILLA								0.2	
8	PULIR	PULIDORA								0.3	
9	PINTURA	HORNO								2	
10	ALMACENAR	TALLER			<input type="checkbox"/>					0.1	

## 5.2. MONTAJE DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

### 5.2.1. MONTAJE DE LA CENTRAL HIDRÁULICA.

El eje del motor eléctrico está acoplado a la bomba a través de un acoplamiento o matrimonio.

La bomba hidráulica está conectada a las mangueras a través de bridas construidas de acero de transmisión, las cuales poseen un o-ring para el cierre hermético.



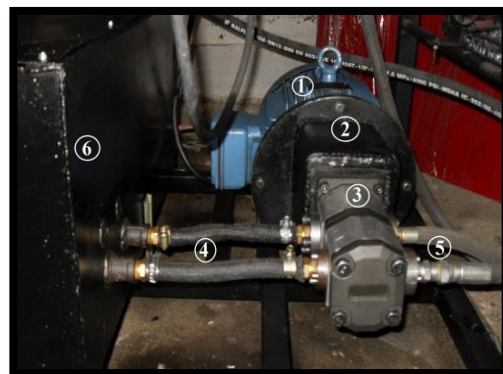
Fuente: Grupo de investigación.

Figura 141: Grupo motor y bomba hidráulica.

Dentro del depósito se conectan los filtros de succión de aceite y cañerías de retorno. Mediante mangueras hidráulicas se conecta el tanque con la bomba, y desde está al sistema con sus respectivas válvulas de alivio.

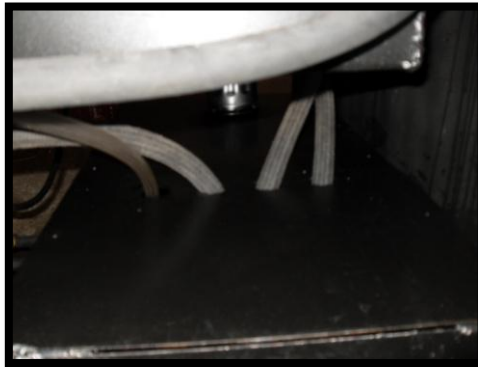
La central hidráulica consta de las siguientes partes:

1. Motor eléctrico.
2. Acople mecánico.
3. Bomba Hidráulica.
4. Cañerías de succión.
5. Cañerías de presión.
6. Tanque.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 142: Central hidráulica.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 143: Líneas de retorno al tanque.

### 5.2.2. MONTAJE SISTEMA HIDRÁULICO DE ALTA Y BAJA PRESIÓN.

El ensamblaje del sistema hidráulico se realizó de acuerdo al circuito diseñado previamente. Para el sistema de baja presión (presión de combustible) se utilizó mangueras de 300 psi, y para el de alta presión (presión de actuación de inyección) con mangueras de 5000 psi. El ensamblaje de los elementos del sistema se realizó mediante uniones hidráulicas.

La plancha designada para el panel de instrumentos se perforó y se eliminó las rebabas, para la correcta adaptación del los dispositivos hidráulicos.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 144: Adaptación y montaje del sistema Hidráulico.

### 5.2.3. DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO.

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRONICOS H.E.U.I."											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO								FECHA: 04-11-2012			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: SISTEMA HIDRÁULICO.											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
	OPERACIONES	7.9	9					<b>ESTUDIADO POR :</b> CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA			
	TRANSPORTE	5	1								
	INSPECCIONES	7.9	8								
	RETRASOS	6.2	3								
	ALMACENAM	0.1	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALAMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/JUN	CÁLCULOS DE TIEMPO COSTO
1	ADQUISICIÓN DE COMPONENTES	AUTO								5	
2	ADECUACIÓN ACOPLÉ MECÁNICO	TORNO								1	
3	ENSAMBALDO CENTRAL HIDRÁULICA	AJUSTE								1	
4	ENSAMBLADO VÁLVULA ALIVIO	AJUSTE								0.2	
5	ENSAMBLADO VAL. BYPASS	AJUSTE								0.2	
6	ENSAMBLADO MANÓMETROS	AJUSTE								0.1	
7	ENSAMBLADO SISTEMA. HIDRÁULICO Y MATRIZ	AJUSTE								0.2	
8	COMPROBAR	ENCENDIDO								0.2	
9	ALMACENAR	TALLER								0.1	

### 5.2.4. DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL RESERVORIO DE ACEITE.

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I."											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO							FECHA: 25-11-2012				
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: RESERVORIO DE ACEITE.											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
	OPERACIONES	4	8					<b>ESTUDIADO POR :</b> CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA			
	TRANSPORTE	0.3	1								
	INSPECCIONES	3.7	7								
	RETRASOS	1.3	2								
	ALMACENAM	0.1	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALAMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULOS DE TIEMPO COSTO
1	ADQUISICIÓN COMPONENTES	AUTO								0.3	
2	CORTE	CIZALLA								0.3	
3	SUELDA	MIG								1	
4	PERFORAR	TALADRO								1	
5	MACILLA	MACILLAR								0.3	
6	PULIR	PULIDORA								0.3	
7	PINTURA	HORNO								0.5	
8	ACCESORIOS	AJUSTE								0.3	
9	ALMACENAR	TALLER								0.1	

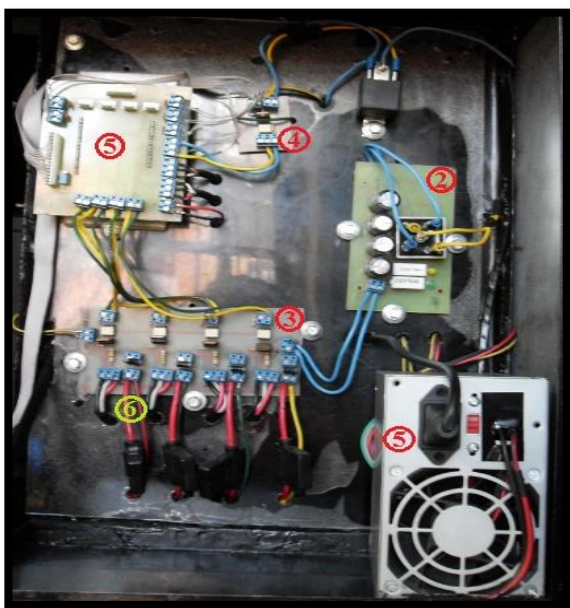


### 5.3. MONTAJE SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.

Para la instalación de las placas del sistema electrónico, fue necesario aislar la parte metálica por medio de un polímero, con el objetivo de evitar cortocircuitos. En la figura siguiente se muestra el montaje de todas las placas del sistema de control y su ubicación para el banco HEUI.

Partes del sistema electrónico

1. Fuente de alimentación.
2. Fuente de potencia.
3. Circuito de control del mosfet.
4. Circuito de temperatura.
5. Tarjeta principal.
6. Líneas de salida a los mosfets y a las bobinas.



Fuente: Grupo de investigación.

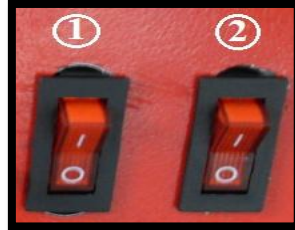
Figura 145: Instalación y fijación de placas.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 146: Instalación del mosfet de potencia.

En la figura 147: encendido de la fuente de alimentación (1), encendido de la fuente de potencia de los inyectores (2).



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 147: Conmutadores .

La figura, muestra el montaje de la pantalla LCD de visualización de datos y la placa de controles para la selección de funciones.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 148: Instalación del LCD y placa de controles.

La instalación de la parte eléctrica, se realizó siguiendo el diagrama de conexión descrito previamente en el capítulo 4, donde se describe en detalle los materiales a utilizar.

En la figura 149: Entrada 220 VAC (1). Disyuntor (2). Contactor (3). Relé térmico (4).



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 149: Instalación eléctrica para el motor trifásico.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 150:** Capacitores de arranque.



**Fuente:** Grupo de investigación

**Figura 151:** instalación de pulsador on/off para el encendido del motor eléctrico.

### 5.3.1. DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I."											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO							FECHA: 09-01-2012				
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
	OPERACIONES	40	9					<b>ESTUDIADO POR :</b> CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA			
	TRANSPORTE	4	1								
	INSPECCIONES	40	9								
	RETRASOS	21	4								
	ALMACENAM	0.1	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALAMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/JUN	CÁLCULOS DE TIEMPO COSTO
1	ADQUISICIÓN DE DISPOSITIVOS	AUTO								4	
2	FUENTE DE POTENCIA	DISEÑO								4	
3	CIRCUITO DE CONTROL DEL MOSFET	DISEÑO								4	
4	CIRCUITO DE TEMPERATURA	DISEÑO								3	
5	TARJETA PRINCIPAL	DISEÑO								4	
6	CONTROL ELECTRÓNICO	MONTAJE								8	
7	CONEXIÓN MOTOR TRIFÁSICO	DISEÑO								4	
8	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	MONTAJE								4	
9	COMPROBACIÓN	ENCENDIDO								5	
10	ALMACENAR	TALLER								0.1	

#### 5.4. GUÍAS DE PRUEBA Y DIAGNÓSTICO DE INYECTORES H.E.U.I.

A continuación se describen las principales pruebas que se ejecutan para la comprobación de los inyectores H.E.U.I. Los resultados obtenidos son fundamentales, para determinar el estado de funcionamiento de los inyectores, y tomar el correcto criterio de reparación.

Tabla No 42: **Modo de operación del sistema H.E.U.I.**

DESCRIPCIÓN	PRUEBA	DISPAROS	LINEA	PSI	T1(μs)
<b>MODO MANUAL</b>	Fuga y activación de la bobina	0	1	1500	1500
					500
<b>MODO AUTOMÁTICO</b>	Prueba A “Lavado de inyectores sucios”	500	1234	1500	1500
	Prueba B “Entrega de combustible a alta presión”	1500	1234	2000	1500
	Prueba C “Entrega de combustible a baja presión”	1500	1234	870	700
<b>MODO USUARIO</b>	Lavado de inyectores sucios	Permite variar el número de disparaos	1234	1500	Permite variar el ciclo de trabajo
	Entrega de combustible a alta presión			2000	
	Entrega de combustible a baja presión			870	

Fuente: Grupo de investigación.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 152: Operación del equipo de diagnóstico H.E.U.I.

<b>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.</b>			
<b>PRACTICA Nº</b>	1	<b>NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA</b>	
<b>FECHA DE RELALIZACIÓN DE PRÁCTICA:</b>	10/02/2013	<b>FECHA DE ENTREGA:</b>	03/03/2013
<b>TEMA:</b>	<b>MODO MANUAL FUGA Y ACTIVACIÓN DE LA BOBINA</b>		<b>CALIFICACIÓN:</b>

### 1. OBJETIVOS A CUMPLIR

- Verificar la activación de la bobina y detectar filtraciones excesivas de aceite por el orificio de descarga de los inyectores.
- Aprender a realizar un diagnóstico eficiente mediante la realización de la presenta prueba.
- Comprender el funcionamiento del equipo de pruebas H.E.U.I.

### 2. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca

### 3. DESARROLLO DE PRÁCTICA

- Instalar los inyectores con una pequeña capa de aceite sobre su superficie.
- Fijar los inyectores a la matriz por medio del dispositivo de ajuste.
- Conectar los cables de alimentación al solenoide del inyector.
- Colocar la cubierta de vidrio.
- Encender el banco de pruebas H.E.U.I.
- Encender la fuente de alimentación.
- Encender la fuente de potencia.

- Seleccionar en la pantalla de visualización Modo Manual o “fuga y activación de la bobina”.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.
- Presurizar el sistema de alta presión a 1500 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Esta prueba se realiza inyector por inyector, para una mejor visualización de la falla. Para habilitar o deshabilitar las señales de salida de cada inyector se ha incorporado un conmutador on/off en cada línea de activación de la bobina según el inyector a probar.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 153:** Conjunto de conmutadores en la señal de cada bobina del inyector.

- Presionar ok para iniciar prueba.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

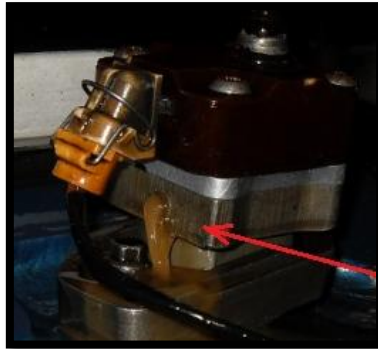
- Un inyector en buenas condiciones, no debe tener fuga por el orificio de descarga al someterlo a la alta presión de aceite. Esto indica que la válvula poppet se cierra herméticamente. Figura 154.



**Fuente:** Grupo de investigación

**Figura 154:** Inyector sometido a alta presión sin fuga por el orificio de descarga.

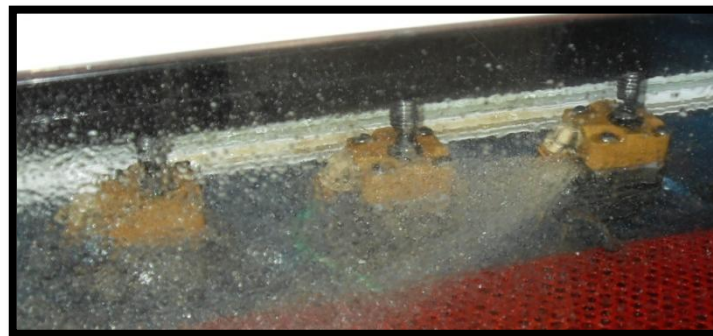
- Un inyector con problemas, presenta fuga excesiva de aceite. Figura 155.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 155:** Inyector sometido a alta presión con fuga por el orificio de descarga.

- Solo un pequeño goteo de aceite es permitido en cada inyector, si se observa un flujo continuo cayendo por este orificio significa que la válvula poppet se encuentra en mal estado y no está sellando apropiadamente.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 156:** Descarga excesiva de aceite.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- La descarga excesiva de aceite ocasiona una fuga de presión y es un indicador de que la válvula poppet no se asienta correctamente.
- La proporción que se abastece de combustible inyectado es controlada por la presión de inyección hidráulica. La presión hidráulica más alta empuja el émbolo y plunger más rápidos, causando una proporción más alta del flujo por la punta de la tobera.



- Para la realización de esta prueba, solo es necesario presurizar el sistema de alta presión de aceite.
- Instalar los inyectores en la matriz, con una pequeña capa de aceite.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Verificar el nivel de fluido de calibración para evitar daños al sistema hidráulico.
- Verificar el indicador de saturación del filtro de retorno, para determinar el estado del aceite.
- Al finalizar la prueba, llevar a la posición inicial a las válvulas limitadoras de presión.
- Encender el equipo de diagnóstico, solo cuando todos los inyectores estén instalados en la matriz.
- No encender el equipo de diagnóstico, sin antes ajustar los inyectores sobre la matriz con el dispositivo de ajuste.
- Cambiar los o-rings externos del inyector para la realización de la prueba para evitar el paso de presión de circuito de aceite al circuito de combustible.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.

<b>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.</b>			
<b>PRÁCTICA Nº</b>	2	<b>NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA</b>	
<b>FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:</b>	10/02/2013	<b>FECHA DE ENTREGA:</b>	03/03/2013
<b>TEMA:</b>	<b>MODO AUTOMÁTICO PRUEBA A LAVADO DE INYECTORES SUCIOS</b>		<b>CALIFICACIÓN:</b>

### 1. OBJETIVOS A CUMPLIR.

- Simular el funcionamiento del inyector para desprender y expulsar de su interior todos los sedimentos y partículas nocivas para el funcionamiento de los mismos.
- Detectar la presencia de o-rings interiores y exteriores en mal estado.
- Aprender a realizar un diagnóstico eficiente mediante la realización de la presenta prueba.
- Comprender el funcionamiento del equipo de pruebas H.E.U.I.

### 2. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca.

### 3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Seleccionar en la pantalla de visualización de Modo Automático Prueba A o “Lavado de inyectores sucios”.
- Cerrar la válvula bypass de baja al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de baja presión a 60 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.

- Presurizar el circuito de alta presión a 1500 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Presionar ok para iniciar prueba.

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- Esta prueba es muy importante porque permite desprender y expulsar del interior del inyector depósitos carbonosos, sedimentos y partículas nocivas para el funcionamiento de los mismos y que afectan la cantidad de entrega de combustible.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Al finalizar la prueba, llevar a la posición inicial a las válvulas limitadoras de presión.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.			
PRÁCTICA Nº	3	NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA	
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:	10/02/2013	FECHA DE ENTREGA:	03/03/2013
TEMA:	MODO AUTOMÁTICO PRUEBA B ENTREGA DE COMBUSTIBLE A ALTA PRESIÓN.		CALIFICACIÓN:

### 1. OBJETIVOS A CUMPLIR.

- Realizar el test mediante la simulación controlada de pulsos de inyección a manera de aparentar que se encuentra trabajando en el interior del vehículo.
- Verificar por medio de las probetas graduadas que todos los inyectores entreguen la misma cantidad de combustible en el mismo tiempo y velocidad. El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.

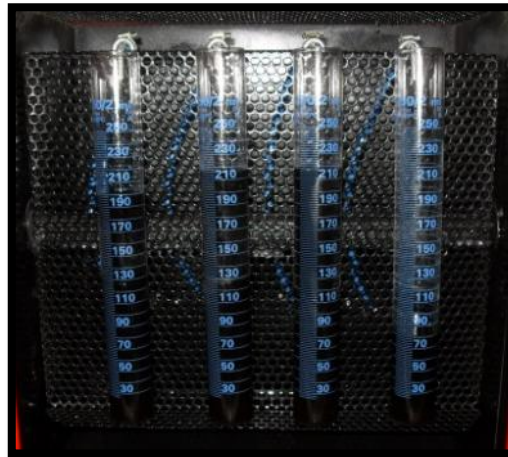
### 2. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca

### 3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

- Seleccionar en la pantalla de visualización de Modo Automático Prueba B o “Entrega de combustible a alta presión”
- Cerrar la válvula bypass de baja al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de baja presión a 60 psi, ajustando la válvula reguladora de presión respectiva.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.

- Presurizar el circuito de alta presión a 2000 psi, ajustando la válvula reguladora de presión respectiva.
- Presionar ok para iniciar prueba.
- Verificar la entrega de líquido de calibración en las probetas.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 157:** Entrega a alta presión.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

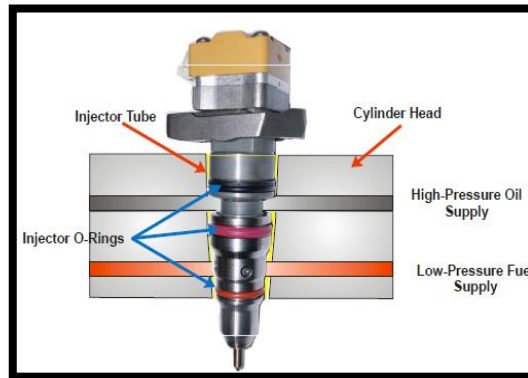
- Para el desarrollo de esta prueba, se utilizó un inyector maestro en buenas condiciones, para tomar los parámetros de entrega de combustible y el tiempo de llenado en las probetas graduadas.

**Tabla No.43:** Parámetro de entrega alta presión.

<b>Entrega</b>	220ml
<b>Tolerancia</b>	200 ml (10%)
<b>Tiempo de llenado</b>	42seg

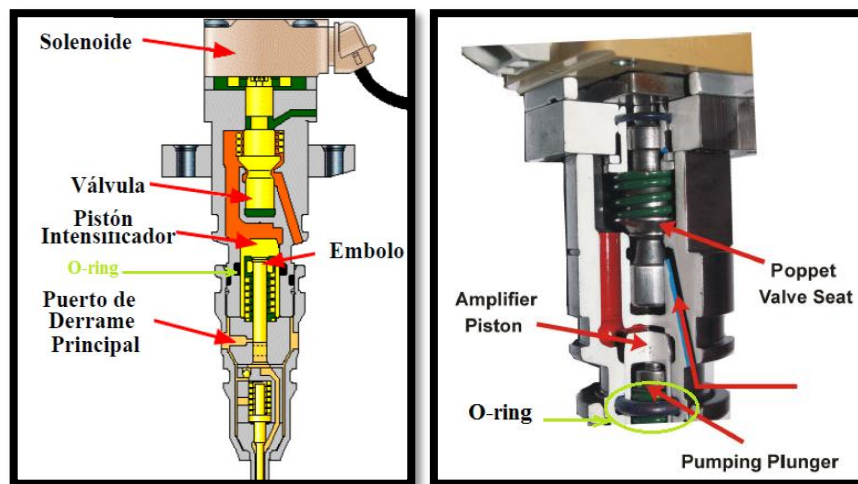
**Fuente:** Adeco Ltda.

- Cuando los o-rings internos y externos están deteriorados, se produce el paso de presión del sistema de aceite al sistema de combustible, afectando la medida de entrega en las probetas debido a la pérdida de presión. Figuras 158 y 159.



Fuente: Adeco Ltda.

Figura 158: O-ring en las Galerías de aceite y combustible.



Fuente: Adeco Ltda.

Figura 159: O-ring interno del pistón intensificador y cilindro.

- Debido a los combustibles de baja calidad o contaminados, el calor produce transformaciones de sus componentes en: carbonilla, lacas y óxidos. Las lacas se adhieren a las agujas de las toberas, anulando su movimiento (tobera remordida y deformada) como también lo hacen la oxidación o la corrosión, afectando la medida de entrega en las probetas
- La tobera con orificios obstruidos por los depósitos carbonosos o las partículas sólidas en el combustible, los elementos desgastados y fuera de calibración también influyen en la medida de entrega.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- Las fugas de presión, elementos en mal estado y fuera de calibración afectan directamente a la medida de entrega de fluido en las probetas graduadas.
- El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.
- Cambiar los o-rings externos del inyector para la realización de la prueba para evitar el paso de presión de circuito de aceite al circuito de combustible.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.			
PRÁCTICA Nº	4	NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA	
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:	10/02/2013	FECHA DE ENTREGA:	03/03/2013
TEMA:	MODO AUTOMÁTICO PRUEBA C ENTREGA DE COMBUSTIBLE A BAJA PRESIÓN.		CALIFICACIÓN:

### 1. OBJETIVOS A CUMPLIR.

- Realizar el test mediante la simulación controlada de pulsos de inyección a manera de aparentar que se encuentra trabajando en el interior del vehículo.
- Verificar por medio de las probetas graduadas que todos los inyectores entreguen la misma cantidad de combustible en el mismo tiempo y velocidad. El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.

### 2. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca

### 3. DESARROLLO DE PRÁCTICA

- Seleccionar en la pantalla de visualización de Modo Automático Prueba C o “Entrega de combustible a baja presión”.
- Cerrar la válvula bypass de baja al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de baja presión a 60 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.



- Presurizar el circuito de alta presión a 870 psi, ajustando la limitadora de presión respectiva.
- Presionar ok para iniciar prueba.
- Verificar la entrega de líquido de calibración en las probetas.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Esta prueba se realiza a 870 Psi, debido a que es la mínima presión para que un motor con inyectores H.E.U.I. se encienda. A continuación se muestra los parámetros para este Test.

**Tabla No.44:** Parámetro de entrega.

<b>Entrega</b>	140ml
<b>Tolerancia</b>	126ml (10%)
<b>Tiempo de llenado</b>	40seg

Fuente: Adeco Ltda.

- La tobera fuera de los rangos de calibración y elementos desgastados, afectan la entrega de combustible en las probetas.

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Las fugas de presión, elementos en mal estado y fuera de calibración afectan directamente a la medida de entrega de fluido en las probetas graduadas.
- El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas

**Nota.** El modo usuario permite realizar las pruebas descritas de forma manual. El operador puede escoger el número de inyecciones y el ciclo de trabajo para el inyector.

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.			
PRÁCTICA Nº	5	NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA	
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:	10/02/2013	FECHA DE ENTREGA:	08/03/2013
TEMA:	REPARACIÓN INYECTOR HE.U.I.		CALIFICACIÓN:

### 1. OBJETIVOS A CUMPLIR.

- Analizar y comprender el funcionamiento del inyector.
- Determinar las partes internas defectuosas del inyector.
- Realizar las operaciones de reparación respectivas, de los elementos que pueden ser reutilizados.
- Sustituir las partes defectuosas del inyector, de acuerdo a la serie de la bobina o motor.
- Armar el inyector de acuerdo a los torques especificados.

### 2. EQUIPO

- Inyectores de prueba.
- Torxs número 20 y 25.
- Destornillador plano.
- Llave mixta número 25.
- Llave maestra.
- Torcómetro
- Rodelas de calibración
- Calibrador de láminas.
- Pulimento para asentar válvula poppet.
- Lija de agua.
- Entenalla y multímetro.

### 3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

A continuación se muestra una guía diagnóstica, para determinar el estado de los inyectores.

**Tabla No. 45:** Diagnóstico de inyectores HEUI.

DIGNÓSTICO	CAUSA	SINTOMA
bobina no se activa	bobina en circuito abierto o con baja resistencia	Motor no desarrolla, sin potencia, ruido diferente
Fuga excesiva por el orificio de descarga	válvula poppet en mal estado, no sella adecuadamente o agarrotada	Motor con dificultad para encender o no enciende debido a la pérdida de la presión de aceite.
Entrega fuera de parámetros establecidos	elementos desgastados, con rangos de calibración fuera de especificación	Motor no desarrolla, sin potencia. Consumo de combustible.

**Fuente:** Grupo de investigación

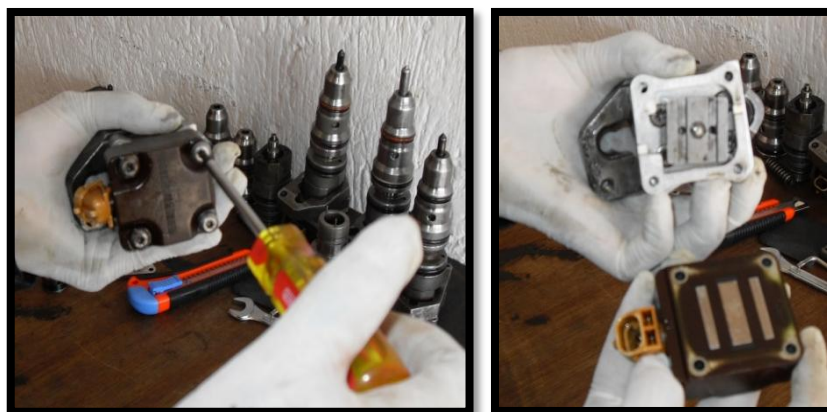
#### 3.1. DESARMADO DEL INYECTOR H.E.U.I.

- **DESMONTAJE GRUPO CUERPO DE VÁLVULA CON SOLENOIDE Y VÁLVULA DE POPPET.**

##### PROCEDIMIENTO.

1. Con un torx número 20 aflojar los pernos de sujeción de la bobina.

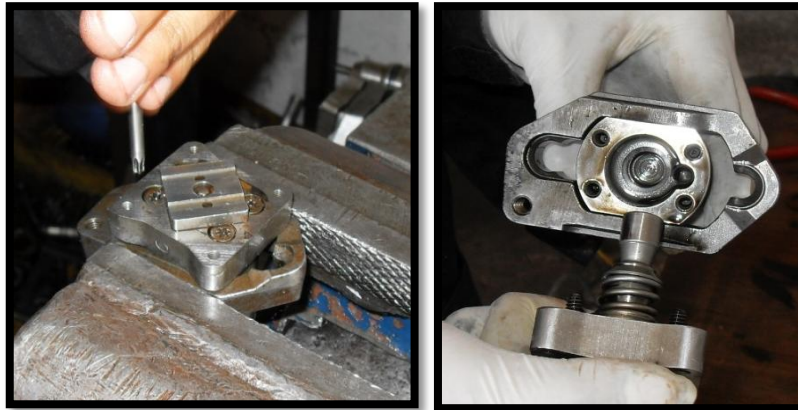
Figura 160.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 160:** Desmontaje del solenoide del inyector.

2. Sujetar en la entenalla al inyector HEUI.
3. Girar la armadura y aflojar los pernos de sujeción al cilindro con un torx # 25. Se puede divisar la válvula poppet. Figura 161.



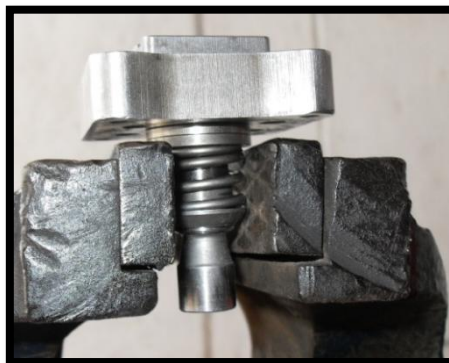
**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 161:** Desmontaje de la armadura y poppet.

**Nota.**

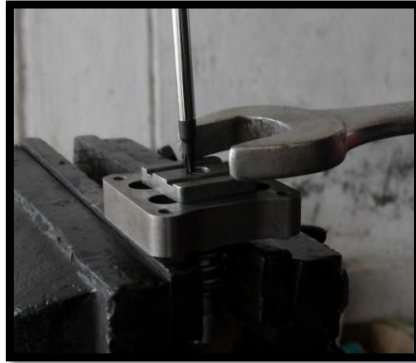
Es posible que la válvula poppet este agarrotada y no salga fácilmente del cilindro, debido al aceite de motor degradado que no ha sido sustituido dentro de los intervalos recomendados.

4. Situar la armadura y la poppet en una entenalla. Figura 162.
5. Mediante un dertornillador plano trabar el tornillo de ajuste de la armadura y con un llave de boca número 25 aflojar dicha armadura. Figura 163.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 162:** Sujeción de la poppet en la entenalla.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 163: Desmontaje de la armadura y poppet.

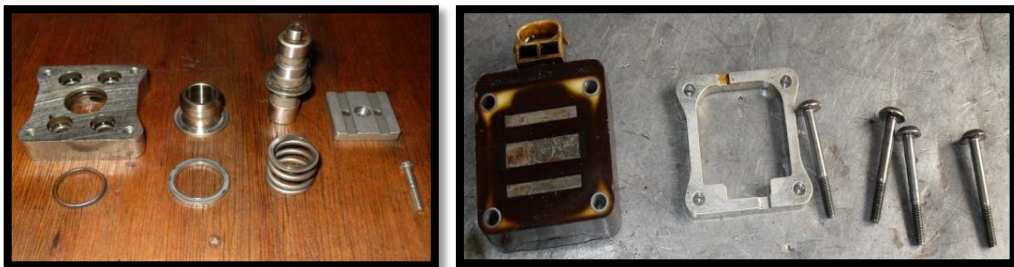
6. Retirar el o-ring del espaciador de la válvula poppet.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 164: Retiro de o-ring del espaciador.

7. A continuación se muestra el desmontaje del grupo en despiece total.



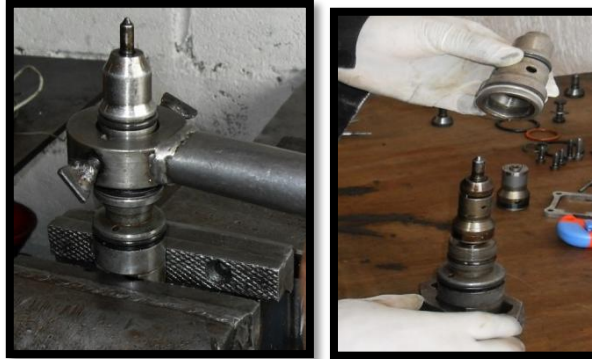
Fuente: Grupo de investigación.

Figura 165: Despiece grupo cuerpo de válvula con solenoide y válvula de poppet.

## • DESMONTAJE GRUPO CILINDRO , PISTÓN INTENSIFICADOR

1. Sujetar el inyector en la entenalla.
2. Situar la llave maestra en el cilindro y centrarla en los oricios de entrada de aceite.
3. Ajustar la llave al cilindro mediante los pernos de ajuste.

4. Aflojar la camisa del inyector y desmontarla. Figura 166.

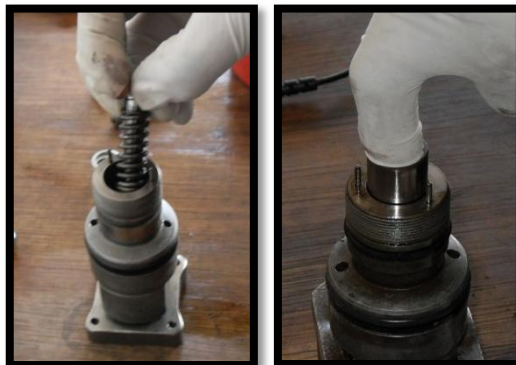


**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 166:** Desmontaje del cilindro.

5. Retirar el grupo tobera de la parte superior del cilindro.

6. Desmontar el plunger de combustible y pistón intensificador. Figura 167.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 167:** Desmontaje del plunger y pistón intensificador.

7. Retirar el o-ring de cierre hermético entre el pistón intensificador y cilindro.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 168:** Desmontaje del o-ring del interior del cilindro.

- **DESMONTAJE GRUPO TOBERA.**

1. Desmontar el grupo, y fijarse en la posición de cada elemento.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 169:** Grupo tobera.

2. En la figura 170 se muestra el grupo tobera en despiece total.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 170:** Despiece del grupo tobera.

3. Finalmente se observa el Inyector H.E.U.I. en despiece total.



Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 171:** Despiece total del inyector H.E.U.I.

### 3.2. ARMADO INYECTOR H.E.U.I.

Para solicitar los elementos que van a ser sustituidos se lo hace mediante la serie marcada en la cabeza del solenoide o la serie del motor, debido a que esta cambia de acuerdo a la potencia del motor. Cada serie o familia, especifica el diámetro del pistón intensificador y por ende la capacidad de inyección del inyector.

Una vez realizadas las operaciones de reparación y sustituidas los elementos defectuosos se procede al armado del inyector HEUI.

- **ENSAMBLADO DEL GRUPO CILINDRO Y PISTÓN.**

Ver secuencia de instalación en la figura.



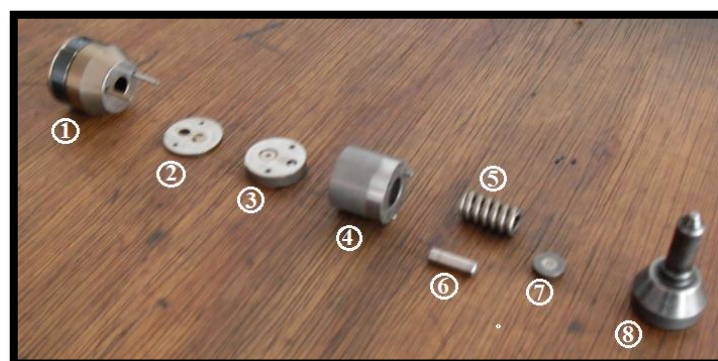
Fuente: Grupo de investigación.

Figura 172: Secuencia de montaje cilindro y pistón de bombeo.

**Nota.** La camisa del inyector (4) se monta al final del montaje del cilindro y el grupo tobera con un torque de 120 Nm.

- **ENSAMBLAJE DEL GRUPO TOBERA.**

Ver secuencia de instalación en la figura.



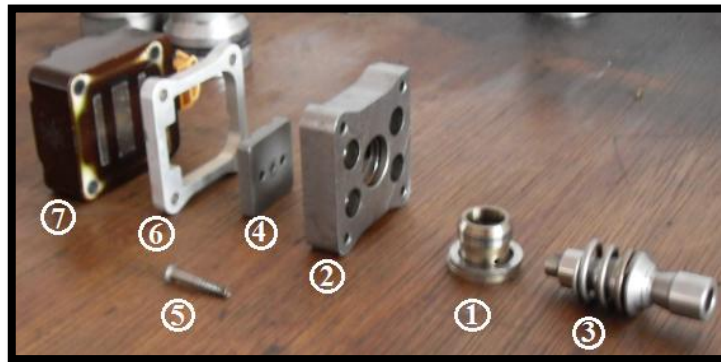
Fuente: Grupo de investigación.

Figura 173: Secuencia de montaje grupo tobera.



- **MONTAJE GRUPO CUERPO DE VÁLVULA CON SOLENOIDE Y VÁLVULA DE POPPET.**

Ver secuencia de montaje en la figura 174. Tomando en cuenta las siguientes recomendaciones.



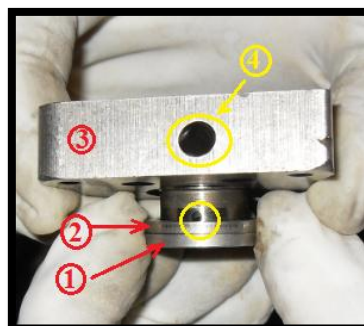
Fuente: Adeco Ltda.

Figura 174: Secuencia de montaje.

1. Al introducir el manguito en el espaciador, los orificios de retorno de aceite deben ir alineados.

Partes de la figura:

- Manguito (1).
- Rodela tope (2).
- Espaciador (3).
- Alineación de los orificios de aceite (4)



Fuente: Adeco Ltda.

Figura 175: Elementos para la calibración

2. Ajustar el espaciador al cilindro con un torque de 10 Nm.

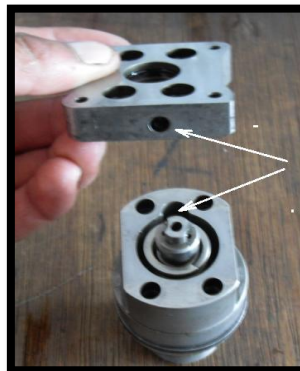


Fuente: Adeco Ltda.

Figura 176: Ajuste del espaciador.

3. El orificio de descarga de aceite del espaciador tiene posición:

En Inyectores International, el orificio de descarga del espaciador se posiciona en sentido opuesto al conducto de descarga de aceite de cilindro (en CAT se encuentran al mismo lado).



Fuente: Adeco Ltda.

Figura 177: Posición del orificio de descarga.

#### 4. CALIBRACIÓN DE LA LUZ DE LA ARMADURA.

Regula la distancia entre el solenoide y la armadura. Una holgura extrema no permitirá que el campo magnético del solenoide atraiga lo suficiente a la armadura y por consiguiente no levantará la válvula poppet completamente de su asiento. La luz ideal de calibración es de 0.040 in.

#### Procedimiento.

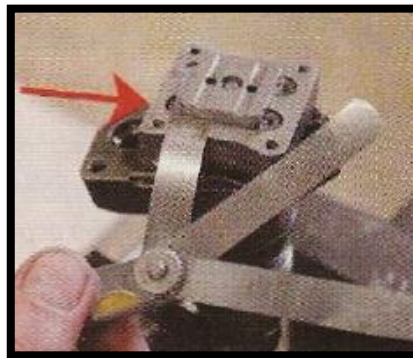
1. Montar la a armadura sobre el espaciador y ajustar el tornillo.



**Fuente:** Adeco Ltda.

**Figura 178:** Montaje de la armadura sobre el espaciador.

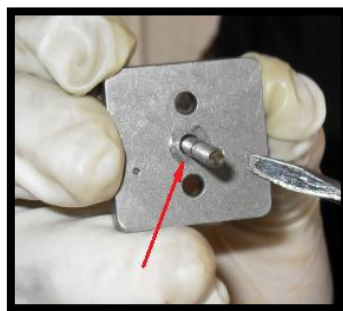
2. Situar el inyector en la entenalla y con el calibrador de láminas verificar la holgura existente.



**Fuente:** Adeco Ltda.

**Figura 179:** Comprobación de la luz de la armadura.

3. El valor ideal es de 0.040 in, si no cumple esta condición se debe colocar unas láminas de calibración bajo la armadura, hasta conseguir la holgura deseada.



**Fuente:** Adeco Ltda.

**Figura 180:** Colocación de láminas de calibración bajo la armadura.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- VERIFICACIÓN Y CONTROL DE LOS ELEMENTOS DEL INYECTOR.

##### a. COMPROBACIÓN DEL SOLENOIDE DEL INYECTOR

Con la ayuda de un multímetro medir la resistencia de la bobina, este debe tener un valor de  $2,6\Omega$  a  $3,4\Omega$ . Un valor inferior a  $2.6 \Omega$  (cortocircuito), o circuito abierto (resistencia infinita) indican el mal estado de la bobina.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 181: Comprobación del solenoide.

##### b. COMPROBACIÓN DEL ASIENTO DE LA VÁLVULA POPPET.

El asiento de la válvula poppet debido al funcionamiento y al descuido en el cambio de aceite de motor presenta desgaste sobre su superficie (figura 182), y por ende una pérdida de presión de la inyección, que provoca que el vehiculó presente dificultar para encender o no lo haga.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 182: asiento de la válvula poppet.

La reparación consiste en hacer un asentamiento de la poppet sobre su propio asiento en el cilindro, con el objetivo de asegurar que todo el contorno de la válvula selle herméticamente, para que no tenga fugas de presión al momento de trabajar, siempre y cuando el desgaste no sea excesivo.

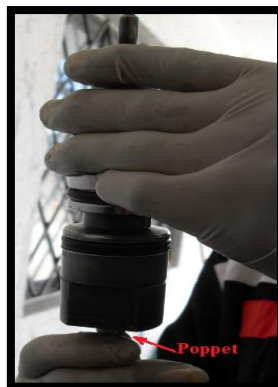
Normalmente se utiliza un pulimento especial, el cual se unta en el área de asiento de la poppet (figura 183) y se hace girar la válvula obligándola a frotarse contra su asiento en el cilindro (figura 184). A determinados intervalos se unta mas pasta, se limpia, y se revisa el avance del asentamiento hasta observar una superficie uniforme.

Una vez que se logra el acabado como espejo, se prosigue con las demás válvulas; al finalizar la operación se debe lavar todo perfectamente para eliminar cualquier rastro del pulimento.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 183:** Pulimento especial para el asiento.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 184:** Operación de asentamiento.

**c. COMPROBACIÓN DEL PLUNGER Y PISTÓN INTENSIFICADOR.  
PLUNGER.**

Un plunger en buen estado debe tener la misma coloración oscura y uniforme, si presenta picaduras y otro color (brillo) son síntomas de desgaste y se deben sustituir en conjunto con el barril y el resorte.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 185:** Comparación del plunger en buen y mal estado.

**d. PISTÓN INTENSIFICADOR.**

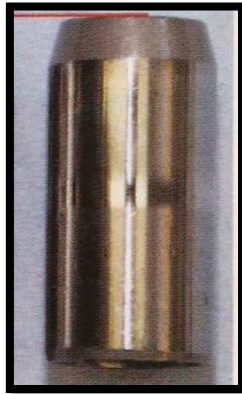
El pistón intensificador puede presentar una superficie irregular (ceja), que ocasiona que el aceite se pase hacia el grupo tobera (sistema de combustible) y contamine el diesel, además ocasiona que el o-ring en el interior del cilindro no haga cierre hermético debido a la presencia de esta ceja.

En el vehículo se comprueba este desgaste en el tanque de combustible que estará mezclado con aceite del motor.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 186:** Pistón intensificador con superficie irregular.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 187:** Pistón intensificador en buen estado.

**Nota.** Cuando el o-ring del interior del cilindro está deteriorado y con picaduras, también origina que el aceite se pase al sistema de combustible. Figura 188.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 188:** Comparación de un o-ring en buen y mal estado.

#### **e. COMPROBACIÓN DEL GRUPO TOBERA.**

- La placa de tope y el tope deben tener una superficie plana perfecta.- Para eliminar las asperezas se pulen con acabado de espejo con una lija fina de agua realizando la figura del número ocho, para un acabado uniforme.

Con una buena planitud entre dos superficies planas, se logra un contacto adecuado para evitar la fuga de combustible a pesar de las elevadas presiones que soportan.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 189:** Elementos a pulir.

1 Placa de tope. 2 Tope

- Verificar que la tobera no esté remordida.- Por los combustibles de baja calidad o contaminados, el calor produce transformaciones de sus componentes en: carbonilla, lacas y óxidos. Las lacas se adhieren a las agujas de las toberas, anulando su movimiento como también lo hacen la oxidación o la corrosión.
- Inspeccionar que los orificios de la tobera no estén obstruidos por depósitos carbonosos o las partículas sólidas en el combustible.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 190:** Verificación de la tobera y válvula de aguja.

- Si al desmontar la válvula de aguja de la tobera se observa que presenta un color azul significa que está sobrecalentada. Se debe sustituirla.





Fuente: Grupo de investigación.

Figura 191: Válvula de aguja desgastada.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Las fugas de presión ocasionadas por los elementos en mal estado, defectuosos, y fuera de calibración generan una pérdida de presión de la inyección, que provoca que el vehículo presente dificultad para encender o no lo haga y tenga baja potencia.
- El asentamiento de la poppet sobre su propio asiento en el cilindro, tiene como objetivo asegurar que todo el contorno de la válvula se selle herméticamente, para evitar fugas de presión al momento de trabajar, siempre y cuando el desgaste no sea excesivo.
- Cuando los o-rings internos y externos están deteriorados, se produce el paso de presión del sistema de aceite al sistema de combustible, afectando la medida de entrega en las probetas debido a la fuga de presión.
- Cuando la válvula poppet está agarrotada en el cilindro, no se realiza ninguna reparación, se debe comprar un inyector nuevo.
- Con una buena planitud entre dos superficies planas, se logra un contacto adecuado para evitar la fuga de combustible a pesar de las elevadas presiones que soportan.
- Para solicitar los elementos que van a ser sustituidos se lo hace mediante la serie marcada en la cabeza del solenoide o la serie del motor, debido a que esta cambia de acuerdo a la potencia del motor.

Cada serie o familia, especifica el diámetro del pistón intensificador y por ende la capacidad de inyección del inyector.

- Sustituir el juego completo de o-rings internos y externos del inyector.
- Las operaciones de reparación se deben realizar con mucha limpieza y orden.
- Disponer de todos los equipos necesarios para la realización del diagnóstico y reparación de inyectores H.E.U.I.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.

**CAPÍTULO VI**  
**MARCO ADMINISTRATIVO**

## **6. MARCO ADMINISTRATIVO.**

### **6.1. RECURSOS.**

Con el objetivo de desarrollar este proyecto de forma planificada, se plantea el siguiente capítulo, con el cual se analizará la optimización de los recursos: humanos, tecnológicos y materiales que son aspectos fundamentales para la puesta en marcha e incidencia del proyecto.

#### **6.1.1. RECURSOS HUMANOS.**

Para el desarrollo del proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.” , lo más relevante fue establecer procesos investigativos y creaciones realizadas por los señores: Wilmer Bolívar Alanuca Morales y Carlos Mauricio Sangucho Leines, quienes desempeñan el papel de investigadores, creadores y diseñadores del proyecto.

Es importante señalar que se contó con el asesoramiento del Ing. Néstor Romero designado como Director y del Ing. Guido Torres en calidad de Codirector, quienes promovieron la investigación científica y la puesta en marcha del proyecto, así como también a los diferentes ingenieros que nos han colaborado directa o indirectamente con el desarrollo del mismo.

#### **6.1.2. RECURSOS TECNOLÓGICOS.**

Para lograr cumplir con las metas planteadas, se hizo imprescindible la utilización de recursos tecnológicos como: scanner, osciloscopio, multímetro, cámara de fotos, computadoras, internet, libros, etc. los que facilitaron la tarea de investigación y desarrollo del proyecto.

### **6.1.3. RECURSOS MATERIALES.**

Son todos los elementos físicos que fueron necesarios para la materialización del proyecto y estos son: motor eléctrico, bomba hidráulica, tanque de aceite, filtros, válvulas limitadoras de presión, manómetros, porta inyectores, sensores de temperatura, lcds, entre los más representativos.

## **6.2. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.**

En la elaboración de proyecto se debe considerar, el costo total del mismo, el cual está conformado de estructura mecánica, tarjetas electrónicas, sistema hidráulico, etc. De acuerdo a este resultado se determinará, si es rentable o no la ejecución del proyecto, o si competitivo frente a sistemas fabricados por otras compañías. Además este análisis sirve como base para asignarle el costo final en el mercado.

Para la implementación del banco de pruebas de inyectores H.E.U.I., es necesario tomar en cuenta los siguientes valores económicos: costo diseño y fabricación de tarjetas, costo de fabricación de la estructura y partes mecánicas, costo de diseño y montaje del sistema hidráulico y costos de accesorios e insumos.

### **6.2.1. COSTO DE LA MANO DE OBRA.**

El valor de este diseño es alto y se verá reflejado en el valor final del proyecto. El objetivo de este capítulo determinar el valor referencial frente al valor real del equipo que se está desarrollando y poder realizar una comparación objetiva con productos de similares características que existen en el mercado nacional e internacional.

El costo de la mano de obra estimado para el banco de pruebas H.E.U.I. es de 1242 dólares americanos. Tabla 46.

**Tabla No 46:** Costo de la mano de obra.

Costo de mano de obra	Cantidad	Valor/hora	Tiempo (h)	Cantidad (\$)
Diseño y estructura Metálica	1	2,5	180	450
Diseño y armado de placas	5	4,5	120	540
Diseño y montaje hidráulico	3	2	48	96
Diseño y Montajeeléctrico	1	6	6	36
Recubrimiento y acabados	1	2,5	48	120
Total				1242

Fuente: Grupo de investigación.

**6.2.2. COSTO DE FABRICACIÓN DE TARJETAS.**

El costo de la fabricación de las tarjetas estimado para el banco de pruebas H.E.U.I. es de 625 dólares americanos. Tabla 47.

**Tabla No 47:** Costo de la fabricación de los módulos eléctricos.

Costo Tarjetas Electrónicas	Cantidad	Costo(\$)
Fuente de alimentación	1	25
Transformador	1	290
Tarjeta de Potencia	1	60
Tarjeta de control de potencia	1	60
Tarjeta principal	1	120
Modulo de conmutación	4	30
LCD	1	20
Teclado de funciones	1	20
Total		625

Fuente: Grupo de investigación.

**6.2.3. COSTO DE ESTRUCTURA Y PARTES MECÁNICAS.****Tabla No. 48:** Costo de estructura y partes mecánicas.

Costo Estructura Metálica	Cantidad	precio/u	Costo(\$)
Tubo estructural cuadrado 1 ½ x 2	2	19,64	39,28
Ángulos 1 x 1/8	2	6,16	12,32
Planchas de acero.	3	41,07	123,21
Brida para bomba hidráulica	4	5	20
Soporte para bomba hidráulica	1	80	80
Total			274,81

Fuente: Grupo de investigación.

#### 6.2.4. COSTO SISTEMA HIDRÁULICO.

Los componentes del sistema hidráulico son los de mayor valor económico, estos fueron adquiridos en la ciudad de Quito y en U.S.A.

**Tabla No. 49:** Costo componentes del sistema hidráulico.

Costo Sistema hidráulico	Cantidad	precio/u	Costo(\$)
Bomba hidráulica	1	650	650
Acople mecánico	1	114	114
Válvulas de alivio	2	125	250
Válvulas de media vuelta	2	20	40
Manómetros	2	28,5	57
Manguera Hidráulica	9	8	72
Filtros de succión	2	20	40
Filtro de retorno	1	30	30
Radiador	1	30	30
motor eléctrico	1	525	525
Válvula unidireccionales	4	18	72
Probetas	4	9	36
Líquido de calibración	15	20	300
Uniones Hidráulicas			130
Accesorios			180
Total			2526

**Fuente:** Grupo de investigación.

#### 6.2.5. COSTO NETO DEL BANCO DE PRUEBAS H.E.U.I.

Una vez determinados todos los costos del equipo, se procede a sumar y obtener el valor neto del proyecto. Cabe recalcar, que no se ha tomado en cuenta el valor de las licencias de los programas y utilitarios informáticos.

**Tabla No. 50:** Costo neto del proyecto.

Costo del banco	Costo(\$)
Costo de mano de obra	1242
Costo Tarjetas Electrónicas	625
Costo Estructura Metálica	274,81
Costo Sistema hidráulico	2526
Movilización	200
Total	4867.81

**Fuente:** Grupo de investigación.

#### **6.2.6. ANÁLISIS DEL COSTO VERSUS EL BENEFICIO.**

Al efectuar un balance entre el gasto económico junto con los logros obtenidos, se observa que el proyecto titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.”**, ha cumplido con las expectativas pues se constituye en un aporte para la comunidad como proyecto aplicable para el Laboratorio de reparación diesel y complementa la formación integral de los estudiantes y futuros profesionales de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPEL.

Como resultado tenemos un banco de pruebas de similares prestaciones y características que un banco de inyectores H.E.U.I. marca Hartrige, pero con un costo realmente bajo, tomando en cuenta que en el mercado cuesta alrededor de 12000 dólares. Es decir con una reducción del 63 % de valor del banco original.

#### **6.2.7. FINANCIAMIENTO.**

El financiamiento del equipo de diagnóstico, simulación y comprobación de inyectores H.E.U.I. se da en su totalidad por parte de los realizadores del proyecto: Wilmer Bolívar Alanuca Morales y Carlos Mauricio Sangucho Leines.

#### **6.3. CRONOGRAMA.**

El cronograma de actividades muestra en detalle la duración de cada etapa de trabajo, para el desarrollo del proyecto de tesis.



PROYECTO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACION, DIAGNOSTICO Y COMPROBACION DE SISTEMAS DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRONICOS H.E.U.J"		MESES																										
		1			2			3			4			5			6			7			8					
N	ACTIVIDADES	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1	Análisis y recopilación de información	X	X	X																								
2	Diseño del proyecto			X	X	X																						
3	Selección y adquisición de componentes					X	X																					
4	Desarrollo e implementación									X			X			X			X			X			X			X
5	Comprobación del proyecto																					X			X			X
6	Análisis de resultados																					X			X			X
7	Redacción del documento																					X			X			X
8	Presentación																									X	X	X

Fuente: Grupo de investigación.

## CONCLUSIONES

- La implementación del dispositivo de simulación, diagnóstico y comprobación de inyectores H.E.U.I. para el Laboratorio de Reparación diesel de la ESPEL, se considera un aporte trascendental para la comunidad, ya que se da solución a la necesidad de contar con un equipo de pruebas adecuado para esta clase de inyectores y de bajo costo, además se constituye en un proyecto aplicable para un taller de servicio diesel grande o pequeño.
- Los estudiantes y futuros profesionales tienen la oportunidad de realizar prácticas, conocer el funcionamiento del sistema inyección H.E.U.I. y estar en la capacidad de realizar diagnósticos, detectar fallas y formular reparaciones.
- Es necesario reforzar los conocimientos adquiridos en las aulas, mediante clases prácticas, a fin de complementar la formación integral de los futuros profesionales.
- El laboratorio de Reparación Diesel no está equipado adecuadamente con un equipo de pruebas para el sistema de inyección H.E.U.I., por lo que la realización de este proyecto es viable.
- La investigación exhaustiva realizada y el asesoramiento de varios expertos en el tema fue fundamental para el diseño y construcción del presente proyecto de grado.
- Se logró crear un sistema de diagnóstico que cumple con las exigencias del mercado, implementando los conocimientos adquiridos, creando un ahorro en su presupuesto.
- Al implementar un mismo fluido para la línea de alta como la de baja presión se evitó un desperdicio del fluido de pruebas.

- El sistema hidráulico consta de válvulas de venteo que evitan que el sistema esté en todo momento presurizado, evitando que el fluido se caliente.
- Se realizó un menú amigable y de fácil acceso para las diferentes pruebas a las que son sometidos los inyectores.
- Contamos con opciones que presentan parámetros establecidos que ayudaran a realizar un diagnóstico rápido y eficiente.
- Es de fácil programación, por medio del programa Arduino.

## RECOMENDACIONES

- Motivar e incentivar la realización de estos proyectos, que fortalecen el aprendizaje y la enseñanza de nuestra carrera
- El estudiante debe tener pleno conocimiento de las aplicaciones del sistema de inyección H.E.U.I. en maquinaria y equipo pesado, que actualmente se comercializan y estipular las ventajas con relación a sistemas de inyección diesel convencionales.
- Leer detenidamente el manual del servicio para familiarizarse con el funcionamiento y operación del equipo de pruebas H.E.U.I
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Verificar el nivel de fluido de calibración para evitar daños al sistema hidráulico.
- Verificar el indicador de saturación del filtro de retorno, para determinar el estado del aceite.
- Al finalizar la prueba, llevar a la posición inicial a las válvulas limitadoras de presión.
- Encender el equipo de diagnóstico, solo cuando todos los inyectores estén instalados en la matriz.
- No encender el equipo de diagnóstico, sin antes ajustar los inyectores sobre la matriz con el dispositivo de ajuste.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas para salvaguardar la integridad del operador y del equipo de diagnóstico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alerich, W. (1990). *Control de Motores Eléctricos*. México: Diana.
- Chapman, S (2005). *Máquinas Eléctricas* (4<sup>ta</sup> ed.). México: McGraw–Hill Interamericana.
- Farrango, R. (2005). *Circuitos Neumáticos Eléctricos e Hidráulicos*. España: Marcombo.
- Gil, H. (2003). *Manual de Mecánica Industrial*. (Tomo 2). España: Cultural.
- Manual de Diagnóstico de los Motores Diesel para Camiones DT-466E e International® 530E.
- Manual de Servicio para Motores DieselDT-466E e International® 530E.
- Manual de Diagnóstico Electrónico para Motor Diesel 3100 H.E.U.I.
- Manual Caterpillar motor 3126E para camión.
- Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos* (6<sup>ta</sup> ed.). México: Pearson Education.
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (4<sup>ta</sup> ed.). México: Pearson Education.
- Norton, R (1999). *Diseño de Máquinas*. México: Pearson Education
- Roldan, J. (1998). *Neumática Hidráulica y Electricidad Aplicada* (6<sup>ta</sup> ed.). Madrid, España: Paraninfo.

- Stewart, H. (2005). *Energía Hidráulica y Neumática Industrial*. Madrid, España: Interoceánica.
- Villalba, C. (2011). *Metodología de la Investigación Científica*. Ecuador: Sureditores

## **BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL**

- <http://es.scribd.com/doc/53254599/Curso-de-Inyeccion-Dir-EUI-HEUI-CATERPILLAR>.
- <http://es.scribd.com/doc/72681781/Manual-Del-HEUI>.
- [www.vickershydraulics.ru/pages/hydraulics/valves/screw-in-cartridge/pdf/725.pdf](http://www.vickershydraulics.ru/pages/hydraulics/valves/screw-in-cartridge/pdf/725.pdf)
- [www.distribtec.com.ar/productos\\_stauff\\_filtros.php](http://www.distribtec.com.ar/productos_stauff_filtros.php)
- [www.servimangueras.com/](http://www.servimangueras.com/)
- [www.kompasspain.com/](http://www.kompasspain.com/)
- <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>

**ANEXO A ESTRUCTUTRA PARA EL BANCO DE PRUEBAS  
DE INYECTORES H.E.U.I. REALIZADO EN EL PROMGRAMA  
DE SIMULACIÓN SOLID WORDS.**





**ANEXO B: PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO PARA EL  
FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA  
EL BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES H.E.U.I.**

## PROGRAMACION CON ARDUINO Y PARA EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO HUEI.

Vamos a comenzar incluyendo las librerías necesarias para el funcionamiento de los diferentes periféricos del sistema como son la pantalla LCD o conocida como visualizador de cristal líquido que viene a continuación:

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

A continuación vamos a definir los pines a utilizar en arduino para las entradas y salidas de datos:

```
#define abajo A4          // pin definido para entrada de botón
#define derecha 3         // pin definido para entrada de botón
#define izquierda A3     // pin definido para entrada de botón
#define arriba A5        // pin definido para entrada de botón
#define aceptar 2        // pin definido para entrada de botón
#define menu 3           // pin definido para entrada de botón
#define HUEI1 4          // pin definido para salida de inyector
#define HUEI2 5          // pin definido para salida de inyector
#define HUEI3 6          // pin definido para salida de inyector
#define HUEI4 7          // pin definido para salida de inyector
#define VENT_A A0        // pin definido para entrada de sensor de
                          // temperatura
#define VENT_B A1        // pin definido para entrada de sensor de
                          // temperatura
#define RELE A2          // pin definido para salida de ventilador de
                          // enfriamiento
```

Continuamos con la declaración de variables o banderas de propósito general, es decir variables que se ejecutan para toda la programación del sistema:

```

int contador;           //definición de contador
boolean Pin_arriba;    //definición de bit de estado para lectura de
                        puerto
boolean Pin_abajo;     //definición de bit de estado para lectura de
                        puerto
boolean Pin_derecha;   //definición de bit de estado para lectura de
                        puerto
boolean Pin_izquierda; //definición de bit de estado para lectura de
                        puerto
boolean Pin_aceptar;   //definición de bit de estado para lectura de
                        puerto
boolean manual;        //definición de bandera para bucles en software
boolean automatico;   //definición de bandera para bucles en software
boolean usuario;      //definición de bandera para bucles en software
boolean setear;       //definición de bandera para bucles en software
boolean setear2;      //definición de bandera para bucles en software
int tiempoAlto;       //definición de variable para PWM modo
                        usuario
int tiempoBajo;       //definición de variable para PWM modo
                        usuario
int NumeroRepeticiones=0; //definición de variable para cuentas de
                        inyección
int DutyCicle=0;      //definición para tiempo de trabajo en
                        PWM
String inputString = ""; //definición String buffer comunicación serial
int cont;             //definición variable de conteo
int limite=1;        //definición variable de limite
int vent_a;          //definición variable almacena dato analógico
                        A0
int vent_b;          //definición variable almacena dato analógico
                        A1

```

```

int RPM=0;           //definición variable manejo de RPM
int contMenu=0;     //definición variable de conteo para el sección
                    //menú general
int contManual=0;   // definición variable de conteo para el sección
                    //menú manual
int contAutomatico=0; // definición variable de conteo para el sección
                    //menú automático

```

A continuación definimos los pines de conexión hacia la LCD con la siguiente función:

```
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
```

```

RS=13           //pin asignado al reset del LCD
E=12           //pin asignado al enable del LCD
D4=11          //pin de datos parte alta del LCD
D5=10          // pin de datos parte alta del LCD
D6=9           // pin de datos parte alta del LCD
D7=8           // pin de datos parte alta del LCD

```

Seguidamente vamos a utilizar la función de inicialización de pines, comunicaciones, funciones de inicialización de pines, etc., para poder arrancar nuestro sistema con todos los instrumentos apagados por cuestiones de seguridad.

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);           //inicialización de la comunicación serial
                                //a 9600 bps
  pinMode(arriba,INPUT);       //Asigno al pin declarado anteriormente
                                //como entrada
  pinMode(abajo,INPUT);        //Asigno al pin declarado anteriormente
                                //como entrada

```

```

pinMode(derecha,INPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                        //como entrada
pinMode(izquierda,INPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                           //como entrada
pinMode(aceptar,INPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                         //como entrada
pinMode(HUEI1,OUTPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                       //como salida
pinMode(HUEI2,OUTPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                       //como salida
pinMode(HUEI3,OUTPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                       //como salida
pinMode(HUEI4,OUTPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                       //como salida

digitalWrite(HUEI1,0); //inicializo el pin con cero lógico
digitalWrite(HUEI2,0); //inicializo el pin con cero lógico
digitalWrite(HUEI3,0); //inicializo el pin con cero lógico
digitalWrite(HUEI4,0); //inicializo el pin con cero lógico
digitalWrite(arriba,HIGH); //activo la resistencia hacia +VCC para el botón
digitalWrite(abajo,HIGH); //activo la resistencia hacia +VCC para el botón
digitalWrite(derecha,HIGH); //activo la resistencia hacia +VCC para el
                             //botón
digitalWrite(izquierda,HIGH); //activo la resistencia hacia +VCC para el
                               //botón
digitalWrite(aceptar,HIGH); //activo la resistencia hacia +VCC para el
                             //botón
pinMode(VENT_A,INPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                       //como entrada
pinMode(VENT_B,INPUT); //Asigno al pin declarado anteriormente
                       //como entrada

```

```

pinMode(RELE,OUTPUT);    //Asigno al pin declarado anteriormente
                          //como salida

digitalWrite(RELE,LOW);  //inicializo el pin con cero lógico

lcd.begin(16, 4);        //inicializo el LCD de 16 columnas por 4
                          //filas

lcd.clear();             //limpio la LCD

inputString.reserve(200); //Reservo 200 bytes para el buffer de
                          //entrada de la serial

Serial.println("Funcion de Seteo");//confirmación por serial de esta
                          //función

delay(1000);            //retardo de un segundo

setear=0;               //inicializo variable a cero

lcd.display();          //enciendo la LCD y finalizo la función de
                          //seteo
}

```

Procedemos a crear el programa principal o lazo principal del sistema como se detalla a continuación con la función void Loop ():

```

void loop()
{
  Pin_arriba = digitalRead(arriba);//leo el pin y cargo en bandera para
                                  //procesar

  Pin_abajo = digitalRead(abajo);//leo el pin y cargo en bandera para
                                  //procesar

  Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);// leo el pin y cargo en bandera para
                                  //procesar

  menu_principal();              //llamo a la función de menú principal
                                  //para desplegar el menú
}

```

A continuación dentro de la función menú principal tenemos los submenús que nos sirven para el manejo del sistema con los programas preestablecidos y el modo usuario que se plantean en el manejo de los inyectores.

```
void menu_principal()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Modo Operacion ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("(1)Manual   ");
  lcd.setCursor(-4, 2);
  lcd.print("(2)Automatico ");
  lcd.setCursor(-4, 3);
  lcd.print("(3)Usuario   ");
  Seleccion_Menu();
  delay(100);
  if(manual==1 && automatico==0 && usuario==0)
  {
    Modo_Manual();
  }
  if(manual==0 && automatico==1 && usuario==0)
  {
    Modo_Automatico();
  }
  if(manual==0 && automatico==0 && usuario==1)
  {
    Modo_Usuario();
  }
}
```

En este menú se despliegan 3 opciones que son:

- Manual
- Automático
- Usuario

Estos a su vez son utilizados gracias al sub menú de selección que sirve para seleccionar la opción según se necesita con el desplazamiento de los botones y el botón aceptar, cargando los flags o banderas en las variables utilizadas en el submenú para el escogimiento del mismo y pasando al siguiente nivel del subnivel que se selecciona

A continuación se detalla la función Selección\_Menu():

```
void Seleccion_Menu()
{
  while(setear==0)
  {
    Pin_arriba = digitalRead(arriba);
    Pin_abajo = digitalRead(abajo);
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);

    switch (contMenu)
    {
      case 0:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
        if(Pin_aceptar == 0)
        {
          manual=1;
          automatico=0;
          usuario=0;
          setear=1;
        }
        lcd.setCursor(0, 1);
```



```

        lcd.print("(1)Manual  <<");
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print("(2)Automatico  ");
        lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("(3)Usuario  ");
        delay(200);
        break;
    case 1:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
        if(Pin_aceptar == 0)
        {
            manual=0;
            automatico=1;
            usuario=0;
            setear=1;
        }
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("(1)Manual  ");
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print("(2)Automatico <<");
        lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("(3)Usuario  ");
        delay(200);
        break;
    case 2:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
        if(Pin_aceptar == 0)
        {
            manual=0;
            automatico=0;
            usuario=1;

```

```

        setear=1;
    }
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("(1)Manual  ");
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Automatico  ");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("(3)Usuario  <<");
        delay(200);
        break;
}
if(Pin_arriba==0)
{
    while(Pin_arriba==0){Pin_arriba=digitalRead(arriba);}
contMenu--;
    if(contMenu <= 0)
    {
        contMenu = 0;
    }
}
if(Pin_abajo == 0)
{
while(Pin_abajo==0){Pin_abajo=digitalRead(abajo);}
    contMenu++;
    if(contMenu > 2)
    {
        contMenu=2;
    }
}
}
}
}
}

```

Cada vez que se selecciona con los botones de desplazamiento la opción se imprime en pantalla las flechas correspondientes a la selección de la opción a escoger, si queremos entrar a la misma simplemente aplastamos la tecla de ok o aceptar para ingresar a dicho submenú, por software se cargan variable y limpian para poder acceder a las opciones de los otros menús del sistema.

## **PROGRAMACIÓN DEL MODOD MANUAL**

```
void Modo_Manual()
{
  lcd.clear();
  while(manual==1)
  {
    Pin_arriba = digitalRead(arriba);
    Pin_abajo = digitalRead(abajo);
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar)
    switch (contManual)
    {
      case 0:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
        if(Pin_aceptar == 0)
        {
//delayMicroseconds(500);
          digitalWrite(HUEI1,HIGH);
          digitalWrite(HUEI2,HIGH);
digitalWrite(HUEI3,HIGH);
          digitalWrite(HUEI4,HIGH);
          delay(1500);
          digitalWrite(HUEI1,LOW);
```

```

        digitalWrite(HUEI2,LOW);
        digitalWrite(HUEI3,LOW);
        digitalWrite(HUEI4,LOW);
        delay(1500);
    }
    lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("(1)Largo 1.5s<<");
        lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Corto 0.5s ");
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print("(3)Regresar ");
        delay(200);
        break;

case 1:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    if(Pin_aceptar == 0)
        {
            //delayMicroseconds(500);
            digitalWrite(HUEI1,HIGH);
            digitalWrite(HUEI2,HIGH);
            digitalWrite(HUEI3,HIGH);
            digitalWrite(HUEI4,HIGH);
            delay(500);
            digitalWrite(HUEI1,LOW);
            digitalWrite(HUEI2,LOW);
            digitalWrite(HUEI3,LOW);
            digitalWrite(HUEI4,LOW);

```

```

        delay(2500);
    }
    lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("(1)Largo 1.5s ");
        lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Corto 0.5s<<");
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print("(3)Regresar  ");
        delay(200);
        break;
    case 2:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
        if(Pin_aceptar == 0)
        {
            manual=0;
            setear=0;
        }
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("(1)Largo 1.5s ");
        lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Corto 0.5s ");
        lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("(3)Regresar <<");
        delay(200);
        break;
    }
    if(Pin_arriba==0)

```

```

    {
        while(Pin_arriba==0){Pin_arriba=digitalRead(arriba);}
contManual--;
        if(contManual <= 0)
        {
            contManual = 0;
        }
    }
    if(Pin_abajo == 0)
{
while(Pin_abajo==0){Pin_abajo=digitalRead(abajo);}
        contManual++;
        if(contManual > 2)
        {
            contManual=2;
        }
    }
}

```

## **PROGRAMACIÓN DEL MODO AUTOMÁTICO**

```

void Modo_Automatico()
{
    lcd.clear();
    while(automatico==1)
    {
Pin_arriba = digitalRead(arriba);
        Pin_abajo = digitalRead(abajo);
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    }
}

```

```

switch (contAutomatico)
{
  case 0:
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    if(Pin_aceptar == 0)
    {
      lcd.clear();
      delay(500);
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Cuentas:    ");
      lcd.setCursor(-4, 2);
      lcd.print("RPM: TH:1500 us");
      lcd.setCursor(-4, 3);
      lcd.print("2000 TL:1500 us");
      for(int x=0;x<1001;x++)
      {
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(x);
        lcd.print(" ");
        digitalWrite(HUEI1,HIGH);
        digitalWrite(HUEI2,HIGH);
        digitalWrite(HUEI3,HIGH);
        digitalWrite(HUEI4,HIGH);
        delayMicroseconds(1500);
        digitalWrite(HUEI1,LOW);
        digitalWrite(HUEI2,LOW);
        digitalWrite(HUEI3,LOW);
        digitalWrite(HUEI4,LOW);
        delay(20);
      }
      lectura_temperatura();
    }

```

```

    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Temperatura:  ");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("SA:");lcd.print(vent_b);lcd.print("SB:");lcd.print(vent_a)
    ;lcd.print("  ");
    delay(5000);
    delay(5000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Finalizando... ");
    delay(2000);
    lcd.clear();
  }
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("(1)Prueba A <<");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("(2)Prueba B  ");
  lcd.setCursor(-4, 2);
  lcd.print("(3)Prueba C  ");
  lcd.setCursor(-4, 3);
  lcd.print("(4)Regresar  ");
  delay(200);
  break;
case 1:
  Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
  if(Pin_aceptar == 0)
  {
    lcd.clear();
    delay(500);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Cuentas:  ");

```



```

        lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("RPM: TH:1500 us");
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print("2000 TL:1500 us");
        for(int x=0;x<2001;x++)
        {
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print(x);
            lcd.print("  ");
            digitalWrite(HUEI1,HIGH);
            digitalWrite(HUEI2,HIGH);
            digitalWrite(HUEI3,HIGH);
            digitalWrite(HUEI4,HIGH);
            delayMicroseconds(1500);
digitalWrite(HUEI1,LOW);
            digitalWrite(HUEI2,LOW);
            digitalWrite(HUEI3,LOW);
            digitalWrite(HUEI4,LOW);
            delay(20);
        }
        lectura_temperatura();
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print("Temperatura:  ");
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print("SA:");lcd.print(vent_b);lcd.print("SB:");lcd.print(ven
t_a);lcd.print("  ");
        delay(5000);
        delay(5000);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Finalizando... ");

```

```

        delay(2000);
        lcd.clear();
    }
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("(1)Prueba A  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("(2)Prueba B  <<");
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(3)Prueba C  ");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("(3)Regresar  ");
    delay(200);
    break;
case 2:
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    if(Pin_aceptar == 0)
    {
        lcd.clear();
        delay(500);
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Cuentas:  ");
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print("RPM:  TH:700 us");
        lcd.setCursor(-4, 3);
        lcd.print("2000  TL:2300us");
        for(int x=0;x<2501;x++)
        {
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print(x);
            lcd.print("  ");
            digitalWrite(HUEI1,HIGH);

```

```

        digitalWrite(HUEI2,HIGH);
        digitalWrite(HUEI3,HIGH);
        digitalWrite(HUEI4,HIGH);
        delayMicroseconds(700);
digitalWrite(HUEI1,LOW);
        digitalWrite(HUEI2,LOW);
        digitalWrite(HUEI3,LOW);
        digitalWrite(HUEI4,LOW);
        delay(20);
    }
    lectura_temperatura();
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Temperatura:  ");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("SA:");lcd.print(vent_b);lcd.print(" SB:");lcd.print(vent_a);lcd.print("
");
    delay(5000);
        delay(5000);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Finalizando... ");
        delay(2000);
        lcd.clear();
    }
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("(1)Prueba A  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("(2)Prueba B  ");
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(3)Prueba C  <<");
    lcd.setCursor(-4, 3);

```

```

        lcd.print("(3)Regresar  ");
        delay(200);
        break;
    case 3:
        Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
        if(Pin_aceptar == 0)
        {
            automatico=0;
            setear=0;
        }
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("(1)Prueba A  ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("(2)Prueba B  ");
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print("(3)Prueba C  ");
        lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("(3)Regresar <<");
    delay(200);
        break;
}
if(Pin_arriba==0)
{
while(Pin_arriba==0){Pin_arriba=digitalRead(arriba);}
    contAutomatico--;
    if(contAutomatico <= 0)
    {
        contAutomatico = 0;
    }
}
if(Pin_abajo == 0)

```

```
{
  while(Pin_abajo==0){Pin_abajo=digitalRead(abajo);}
  contAutomatico++;
  if(contAutomatico > 3)
  {
    contAutomatico=3;
  }
}
}
```

**ANEXO C MANUAL DE SERVICIO DEL EQUIPO DE  
SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN PARA  
INYECTORES H.E.U.I.**

## EQUIPO DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE INYECTORES H.E.U.I.



Ofrece un sistema de medición graduado, así como un control electrónico, que permiten realizar comprobaciones hasta en 4 inyectores. La máquina incorpora un comprobador en riel de suministro de aceite, que permite controlar la presión hidráulica y del combustible (usando el mismo aceite de prueba para ambos casos) individualmente.

### Características principales:

- Cubierta transparente para visualización de inyectores.
- Posee botón de bloqueo.
- Comprobación completa de las filtraciones del sistema de aceite.

**Características del control del inyector:**

- Control de la amplitud de impulso de 0,05 a 3 ms (equivalente a la duración de la inyección)
- Control de cuenta disparos desde 1 a 1500 en medición continúa.
- Selección de las líneas individuales on/off.
- Pantalla de visualización sencilla y fácil de usar.
- Parámetros básicos del inyector cargados previamente.

**Ventajas:**

- Comprobación de hasta 4 inyectores.
- Fácil ajuste del sistema electrónico.
- Sistema de operación fácil para el operador.
- Visualización eficaz.
- Calibrador graduado.

**Especificaciones técnicas:**

Sistema de Accionamiento

Motor de accionamiento del sistema del aceite de 7,5 kW.

**Sistema de Combustible:**

Suministro de baja presión

Completamente variable entre 0 – 160 psi (0 – 10 bar).

Suministro de alta presión

Completamente variable entre 600 – 3000 psi (40 – 200 bar).

Capacidad del depósito

22 galones americanos (80 litros).





---

**Sistema de calibrado**

Probetas graduadas sobre una placa de montaje de 250ml.

Manómetro analógico, 0 – 160 psi  
(0 – 11 bar)

Manómetro analógico, 0 – 3000 psi  
(0 – 200 bar)

**Otros Instrumentos**

Visualización de la temperatura del combustible.

Visualización del control del inyector.

**Montaje del inyector**

Para efectuar la comprobación, los inyectores están sujetos bajo presión y se montan de forma rígida, mediante el dispositivo de ajuste.

**Conexiones de señal del inyector**

Se facilitan cuatro cables de señal junto con la máquina, que se conectarán directamente a las salidas ubicadas en el cuadro de instrumentos de la misma.



## **Aplicaciones**

La configuración estándar del comparador de inyectores hidráulicos permite comprobar el inyector HEUI cuando se acopla a los siguientes motores:

- Kodiak 3126E.
- Navistar DT466 e.
- Navistar DT530 e.

## **Requisitos de instalación:**

Suministro de alimentación eléctrica.

De 110-220 V 50 Hz/60 Hz.

## **Comprobación del aceite:**

El Comparador de inyectores hidráulico está diseñado para utilizarse con aceite para la comprobación, que facilita el suministro de presión baja y alta al inyector. Es preciso que el aceite utilizado para la comprobación tenga propiedades lubricantes añadidas; por este motivo, se recomienda el líquido de calibrado Rock Valley C-3112 Tipo 2 o Texaco Randon 32.

## **PRÓLOGO**

Este equipo fue diseñado y manufacturado asimilando el funcionamiento real de un motor en altas y bajas condiciones de trabajo, garantizando un máximo rendimiento. Su mantenimiento regular y servicio asegurara un ciclo más alto de vida.

Este proyecto de grado fue aprobado y realizado bajo la supervisión de docentes de la ESPE-L, los cuales aportaron con sus conocimientos al desarrollo de este proyecto.

## **MANTENIMIENTO**

Para que todo esté en correcto funcionamiento, no olvide dar siempre un mantenimiento periódico siguiendo la información dada en esta publicación.

## **INFORMACIÓN DE SEGURIDAD**

Muchos de los accidentes en la operación del equipo pueden ser causados por fallos en reglas básicas de seguridad o precauciones que el usuario no debe olvidar. Un accidente puede evitarse mediante el reconocimiento de antemano la situación de peligro potencial. Se diseñó al equipo para que su manejo sea amigable y seguro, cuidando principalmente la seguridad del operador.

## **ADVERTENCIAS, PRECAUCIONES Y NOTAS**

Las notas de precaución en esta publicación, indicadas por las palabras Advertencia, Precaución y Nota es información proveniente de riesgos potenciales para el personal y el equipo. Ignorar estas notas puede dar lugar a graves riesgos al personal y daño del equipo. Estas notas son las siguientes:

## **WARNING!**

Indica que una situación puede ser peligrosa para el personal. Instrucciones que son provistas para evitar que el personal se lesione.

## **CAUTION!**

Indica que condiciones existentes que podrían poner el equipo en riesgo. Estas instrucciones son provistas para prevenir el daño del equipo.

## **NOTAS**

Esta información adicional está situada en lugares donde habrá mayor confusión.

### **General Warnings**



No inicie el test de presión hidráulica de motor a menos que los inyectores estén totalmente montados y sujetos en su base.



Este seguro de colocar la maquina en un lugar ventilado adecuadamente. El vapor de aceite puede ser liberado por fugas calientes a alta presión de accesorios.



Use un líquido de calibración correcto que cumpla con los requerimientos para una limpieza del inyector y su cuidado.



Se deben usar gafas y tapón auditivo de seguridad cuando se trabaje en este equipo por las siguientes razones:

- El test de comprobación genera una alta presión del fluido capaz de volar y esparcirse rápidamente y causar daños en los ojos al haber alguna mala función de este. El test de presión usa un líquido que es perjudicial para los ojos.

- Los tapones de oído deben ser usados por todas las personas que se encuentren en el área del test, pues la baja frecuencia del ruido puede dañar el oído interno y causar sordera.

- Asegurar un buen nivel de iluminación para un uso seguro y eficiente del equipo de operación.



Verificar el nivel del líquido de calibración, para evitar daños al sistema hidráulico



Remover los elementos de limpieza del banco de pruebas antes de comenzar



No exponga las manos ni el cuerpo siempre que haya una pulverización de fluido especialmente dada en los inyectores. La alta presión de inyección podría causar daños fatales. Si esto pasa reciba atención médica.



Aislar el suministro eléctrico antes de realizar cualquier operación de mantenimiento. No trabaje con equipos eléctricos mientras el voltaje se suministra. Si tal no se



puede evitar, por ejemplo, para las mediciones, pruebas o ajustes, tienen la acción de llevarse a cabo por personal calificado.



Asegurar que las necesidades de servicios y los intervalos que figuran en la sección de mantenimiento se cumplan. Opere este equipo sólo si es competente para hacerlo. Llevar a cabo inspecciones periódicas para asegurarse de que todas las conexiones de alta presión están apretadas seguramente.



Guantes y overoles impermeables deben ser usados si el contacto regular con fluido de prueba es probable. Guantes también deben ser usados después de las pruebas en la entrega de aparatos o piezas de inyectores que pueden estar calientes.



Calzado de seguridad deben ser usados en el área de prueba en todo momento. Lesiones en los pies tal vez se produzcan en caso de que Equipo bajo prueba (durante la carga o descarga del equipo).



No debe haber llamas libres. Vapores potencialmente inflamables están presentes en el banco de pruebas y diésel. Fumar durante el funcionamiento del equipo está estrictamente prohibido.

## CAUTION



Los equipos de soldadura por arco no deben ser operados dentro de los 5 metros del banco de pruebas. La alimentación eléctrica de los equipos de soldadura

debe ser proporcionada por un transformador de aislamiento remoto. Soldadura por arco pueden perturbar los circuitos eléctricos.

## **1. INTRODUCCIÓN Y ESPECIFICACIÓN**

Este manual contiene información acerca de la seguridad, instalación, operación y rutina de mantenimiento de la máquina de pruebas inyectores hidráulicos. Esto esta designado para el test de activado hidráulico y controlar electrónicamente el inyector HEUI.

### **1.1. ESPECIFICACIONES**

<b>Suministro eléctrico</b>	110-220V, 3 fases (Opcional para Motor), 50-60Hz.
<b>Líquido de calibración</b>	Rock Valley C-3112 Type 2.
<b>Capacidad del tanque</b>	80ltiros
<b>Dimensiones</b>	Lámina 1.
<b>Peso</b>	350 kg.

### **1.2. DIMENSIONES DEL EQUIPO H.E.U.I**

### **1.3. COMPONENTES DEL EQUIPO H.E.U.I.**



**E S P E**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CAMINO A LA EXCELENCIA**

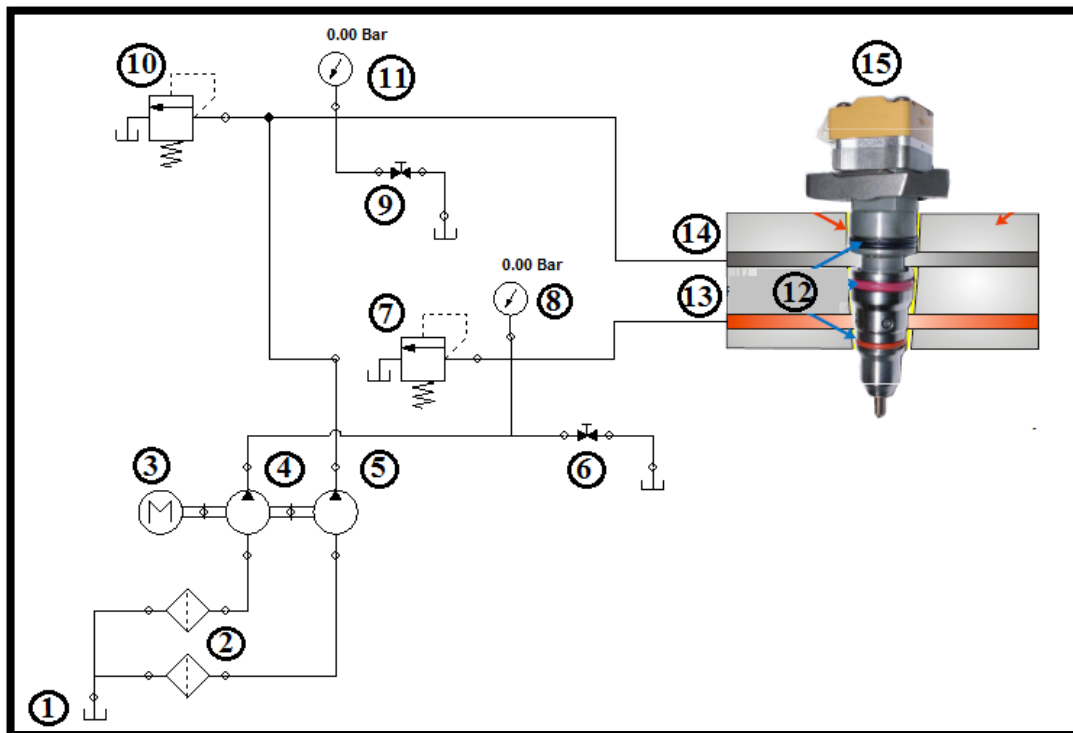
---



## 2. SISTEMA HIDRÁULICO

### 2.1. COMPONENTES:

- Reservoirio de aceite (1).
- Filtros de succión (2).
- Motor Eléctrico (3).
- Bomba de baja presión (4).
- Bomba de alta presión (5).
- Válvula bypass de baja (6).
- Válvula limitadora de presión de baja (7).
- Manómetro de presión de baja (8)
- Válvula bypass de alta (9).
- Válvula limitadora de presión de alta (10).
- Manómetro de presión de alta (11)
- Matriz de inyectores (12).
- Galería de combustible (13).
- Galería de aceite (14).
- Inyector (15).



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 1: Circuito hidráulico

## 2.2. DESCRIPCIÓN

Los componentes usados para el banco de pruebas se muestran en la siguiente tabla con una breve descripción y datos previos para la aplicación de diseño.

**Tabla No. 1:** Componentes hidráulicos.

<b>Sistema</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Sistema de combustible de Baja Presión(Presión de Combustible) 0 - 60 Psi 0 - 5 Bar</b>	Bomba Combustible	Accionada por un motor eléctrico, aspira el combustible hacia cámara de inyección.
	Válvula de Alivio	Regula la presión de funcionamiento del sistema de combustible.
	Manómetro	Indica la presión manométrica a la que trabaja el sistema.
	Válvula de cierre N/A	Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión.
	Inyector	Válvulas solenoides a los cuales se les realizará las operaciones de comprobación y mantenimiento.
<b>Sistema de Aceite de Alta Presión(Presión de Inyección) 870 - 3100 Psi 60 - 200 Bar</b>	Bomba Hidráulica	Accionada por un motor eléctrico, aspira el aceite y lo presuriza para el funcionamiento de los inyectores
	Válvula de Alivio	Regula la presión de funcionamiento del sistema de alta presión de aceite, según el tipo de prueba.
	Manómetro	Indica la presión manométrica a la que trabaja el sistema.
	Válvula de cierre N/A	Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión.
	Riel de inyectores	Es el distribuidor de combustible y aceite, donde van a instalarse los inyectores.
	Inyector	Válvulas solenoides a los cuales se les realizará las operaciones de comprobación y mantenimiento.

**Fuente:** Grupo de investigación

**Tabla No. 2:** Datos técnicos bomba hidráulica y motor eléctrico.

Bomba hidráulica			Motor eléctrico
Presión	Caudal	Descarga	Potencia
Baja (Presión de combustible)	21,12 lt/min 5,57 GPM	12 cc/rev	10 Hp 1760rpm
Alta (presión de inyección)	10,56 lt/min 2,8GPM	6 cc/rev	

Fuente: Grupo de investigación.

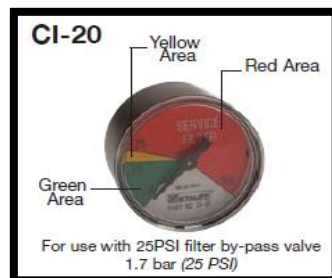
**Tabla No. 3:** Presiones de funcionamiento bomba de alta presión.

Bomba Hidráulica Doble	Psi	Bar
Sistema de baja presión	60	5
Sistema de alta presión	3100	200

Fuente. Manual de diagnóstico para motores diesel DT 466E e International 530E.

### 2.3. DATOS IMPORTANTES.

- Filtros de succión SUSP050N08F1051250 de 125 µm.
- Filtro de retorno SF-6504 de 25µm.
- Indicador de saturación.-Indica el estado de suciedad del filtro.



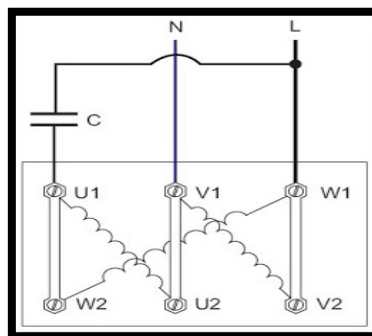
Fuente: Neumac S.A.

**Figura 2:** Filtro de Saturación C120 para la aplicación.

### 3. CIRCUITO ELÉCTRICO

Debido a que en la mayoría de hogares y sitios de trabajo industrial no cuentan con una red trifásica, se recurre a realizar una instalación con alimentación de 220v para motores trifásicos mediante la utilización de condensadores de arranque, aunque es naturalmente imposible obtener las mismas condiciones originales de funcionamiento. Sin embargo este sistema permite ampliar el campo de aplicación de determinado tipo de herramientas y maquinaria.

**CONEXIÓN EN TRIÁNGULO.** Se emplea para lograr un rendimiento óptimo en el arranque de un motor con alimentación de 220V. Figura 94.



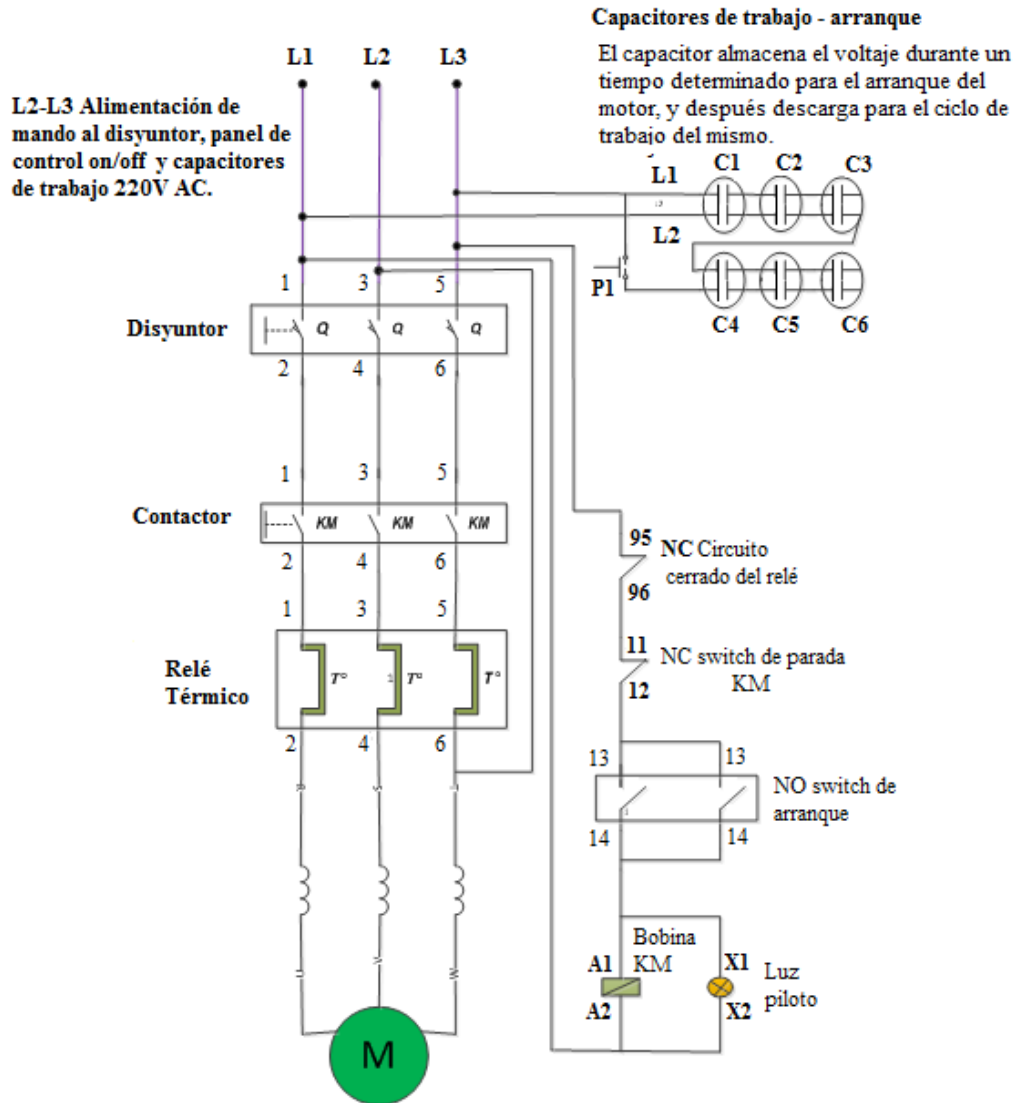
**Fuente:** <http://juganett.blogspot.com/2011/01/como-conectar-un-motor-trifasico-400v>.

**Figura 3:** Conexión en triángulo con alimentación de 220V.

**Advertencia:** El cable de alimentación de entrada debe ser capaz de transportar la corriente total de carga del soporte. El tamaño mínimo de cable recomendado es de 6mm

**Precaución:** No use un cable más largo que 20m para conectar el banco de pruebas a la fuente de energía principal.

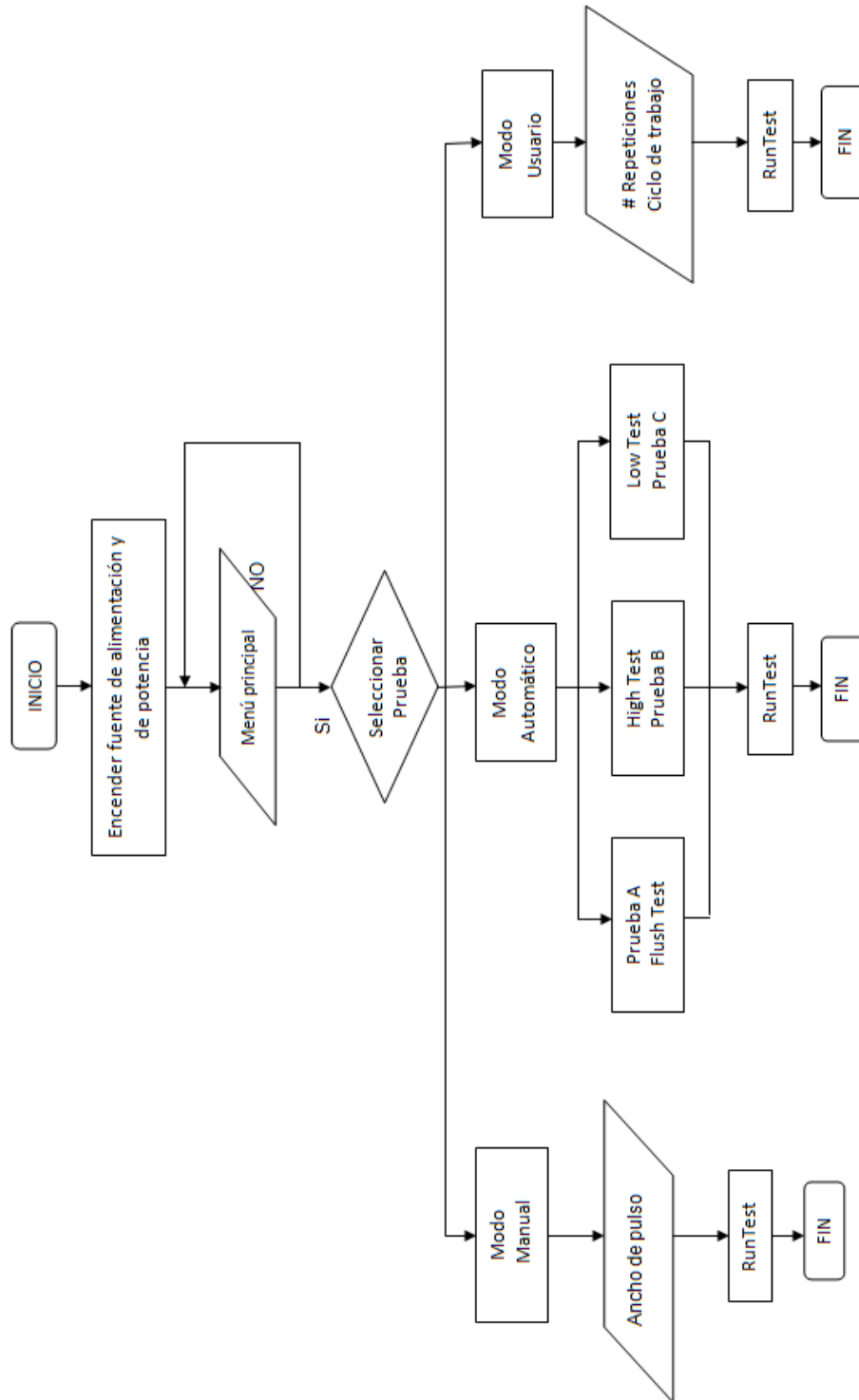
## DIAGRAMA DE INSTALACIÓN.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 4: Instalación mediante uso de condensadores.

**4. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIÓN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL INYECTOR.**



**Fuente:** Grupo de investigación.

## 5. PREPARACIÓN PARA USO DEL EQUIPO DE PRUEBAS

- Llenar el tanque con líquido de calibración.

El banco de pruebas usa líquido de calibración Rock Valley C-3112 Tipo 2 o Texaco Rando 32. Retirar la tapa del depósito que se entra en la parte derecha del banco y llenar hasta la marca superior de la mirilla de nivel de aceite.

- Establecer las dos válvulas reguladoras de presión en su mínimo (completamente hacia la izquierda).
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Verificar el nivel de fluido de calibración para evitar daños al sistema hidráulico.
- Verificar el indicador de saturación del filtro de retorno, para determinar el estado del aceite.
- Sustituir el juego completo de o-rings externos del inyector para realizar las pruebas y evitar el paso de presión de un sistema a otro.
- Las operaciones de reparación se deben realizar con mucha limpieza y orden.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas para salvaguardar la integridad del operador y del equipo de diagnóstico.

**ADVERTENCIA:** No encender el equipo de pruebas, si los inyectores aún no están en su posición de trabajo y asegurados correctamente, esto ocasionará que el aceite salga por las cavidades y debido a la presión generada, el inyector saldrá expulsado y puede causar un accidente.

## 6. INSTALACIÓN DE LOS INYECTORES

### a. MONTAJE DE LOS INYECTORES

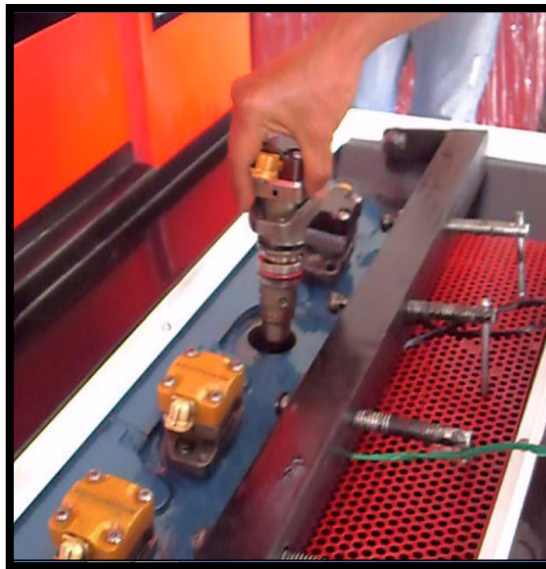
- Untar una capa de aceite sobre la superficie del inyector.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 5: Capa de aceite sobre el inyector.

- Instalar con mucho cuidado los inyectores en la matriz Figura 6.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 6: Montaje del inyector en la matriz.

- Realizar una pequeña presión sobre la cabeza del inyector, para que se fijen en su asiento.

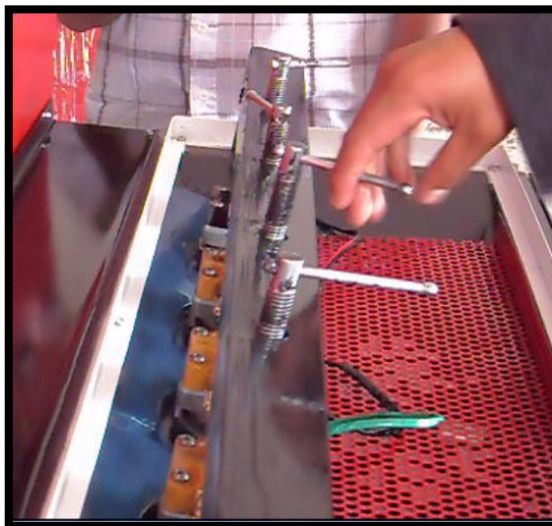




Fuente: Grupo de investigación.

**Figura 7:** Fijación del inyector sobre su asiento en la matriz.

- Fijar los inyectores a la matriz, por medio del dispositivo de ajuste.



Fuente: Grupo de investigación.

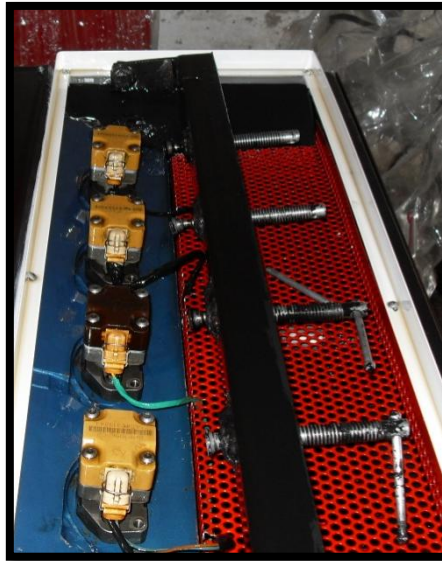
**Figura 8:** Ajuste de los inyectores sobre la matriz.

- Conectar los cables de alimentación al solenoide del inyector.
- Colocar la cubierta de vidrio.

#### **b. DESMONTAJE DE LOS INYECTORES**

- Apagar el dispositivo de diagnóstico.
- Quitar la cubierta de vidrio.

- Aflojar el dispositivo de ajuste.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 9:** Aflojar dispositivo de ajuste.

- Desconectar los cables de alimentación a los solenoides.
- Posicionar la herramienta de palanca bajo la placa de ajuste del inyector y dar ligeros golpes hacia afuera del extremo de la herramienta, para sacar al inyector de la matriz Figura 10.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 10:** Desmontaje del inyector de la matriz.

## 7. MODO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO H.E.U.I.

El equipo H.E.U.I. está diseñado para realizar cuatro pruebas en tres modos.

**Tabla No. 4:** Modo de operación del sistema.

DESCRIPCIÓN	PRUEBA	DISPAROS	LINEA	PSI	T1(μs)
<b>MODO MANUAL</b>	Fuga y activación de la bobina	0	1	1500	1500
					500
<b>MODO AUTOMÁTICO</b>	Prueba A "Lavado de inyectores sucios"	1000	1234	1500	1500
	Prueba B "Entrega de combustible a alta presión"	1500	1234	2000	1500
	Prueba C "Entrega de combustible a baja presión"	1500	1234	870	700
<b>MODO USUARIO</b>	Lavado de inyectores sucios	Permite variar el número de disparos	1234	1500	Permite variar el ciclo de trabajo
	Entrega de combustible a alta presión			2000	
	Entrega de combustible a baja presión			870	

**Fuente:** Grupo de investigación.

Al encender el control electrónico, en la pantalla LCD aparecen las siguientes opciones. Con los navegadores se escogen las distintas pruebas a realizar, según la necesidad del operador.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 11:** Modo de operación.

## 8. PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE INYECTORES H.E.U.I

<b>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA      INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.</b>			
<b>PRACTICA Nº</b>	1	<b>NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO      WILMER ALANUCA</b>	
<b>FECHA DE RELALIZACIÓN DE PRÁCTICA:</b>	10/02/2013	<b>FECHA DE ENTREGA:</b>	03/03/2013
<b>TEMA:</b>	<b>MODO MANUAL      FUGA Y ACTIVACIÓN DE LA BOBINA</b>		<b>CALIFICACIÓN:</b>

### 6. OBJETIVOS A CUMPLIR

- Verificar la activación de la bobina y detectar filtraciones excesivas de aceite por el orificio de descarga de los inyectores.
- Aprender a realizar un diagnóstico eficiente mediante la realización de la presenta prueba.
- Comprender el funcionamiento del equipo de pruebas H.E.U.I.

### 7. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca

### 8. DESARROLLO DE PRÁCTICA

- Instalar los inyectores con una pequeña capa de aceite sobre su superficie.
- Fijar los inyectores a la matriz por medio del dispositivo de ajuste.
- Conectar los cables de alimentación al solenoide del inyector.
- Colocar la cubierta de vidrio.
- Encender el banco de pruebas H.E.U.I.
- Encender la fuente de alimentación.

- Encender la fuente de potencia.
- Seleccionar en la pantalla de visualización Modo Manual o “fuga y activación de la bobina”.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 12: Modo manual.

- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.
- Presurizar el sistema de alta presión a 1500 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Esta prueba se realiza inyector por inyector, para una mejor visualización de la falla. Para habilitar o deshabilitar las señales de salida de cada inyector se ha incorporado un conmutador on/off en cada línea de activación de la bobina según el inyector a probar.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 13: Conjunto de conmutadores en la señal de cada bobina del inyector.

- Presionar ok para iniciar prueba.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

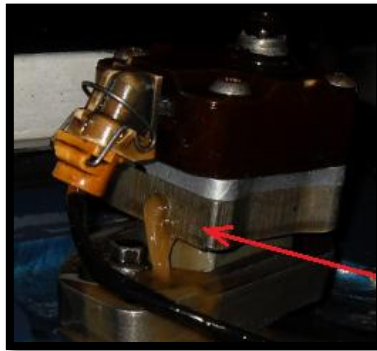
- Un inyector en buenas condiciones, no debe tener fuga por el orificio de descarga al someterlo a la alta presión de aceite. Esto indica que la válvula poppet se cierra herméticamente. Figura 14.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 14: Inyector sometido a alta presión sin fuga por el orificio de descarga.

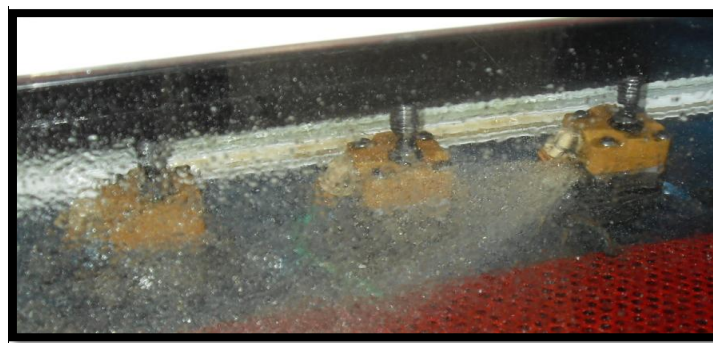
- Un inyector con problemas, presenta fuga excesiva de aceite. Figura 15.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 15: Inyector sometido a alta presión con fuga por el orificio de descarga.

- Solo un pequeño goteo de aceite es permitido en cada inyector, si se observa un flujo continuo cayendo por este orificio significa que la válvula poppet se encuentra en mal estado y no está sellando apropiadamente.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 16: Descarga excesiva de aceite.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- La descarga excesiva de aceite ocasiona una fuga de presión y es un indicador de que la válvula poppet no se asienta correctamente.
- La proporción que se abastece de combustible inyectado es controlada por la presión de inyección hidráulica. La presión hidráulica más alta empuja el émbolo y plunger más rápidos, causando una proporción más alta del flujo por la punta de la tobera.
- Para la realización de esta prueba, solo es necesario presurizar el sistema de alta presión de aceite.
- Instalar los inyectores en la matriz, con una pequeña capa de aceite.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Verificar el nivel de fluido de calibración para evitar daños al sistema hidráulico.
- Verificar el indicador de saturación del filtro de retorno, para determinar el estado del aceite.
- Al finalizar la prueba, llevar a la posición inicial a las válvulas limitadoras de presión.
- Encender el equipo de diagnóstico, solo cuando todos los inyectores estén instalados en la matriz.
- No encender el equipo de diagnóstico, sin antes ajustar los inyectores sobre la matriz con el dispositivo de ajuste.
- Cambiar los o-rings externos del inyector para la realización de la prueba para evitar el paso de presión de circuito de aceite al circuito de combustible.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.

<b>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.</b>			
<b>PRÁCTICA Nº</b>	2	<b>NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA</b>	
<b>FECHA DE RELALIZACIÓN DE PRÁCTICA:</b>	10/02/2013	<b>FECHA DE ENTREGA:</b>	03/03/2013
<b>TEMA:</b>	<b>MODO AUTOMÁTICO PRUEBA A LAVADO DE INYECTORES SUCIOS</b>		<b>CALIFICACIÓN:</b>

### 5. OBJETIVOS A CUMPLIR.

- Simular el funcionamiento del inyector para desprender y expulsar de su interior todos los sedimentos y partículas nocivas para el funcionamiento de los mismos.
- Detectar la presencia de o-rings interiores y exteriores en mal estado.
- Aprender a realizar un diagnóstico eficiente mediante la realización de la presenta prueba.
- Comprender el funcionamiento del equipo de pruebas H.E.U.I.

### 6. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca.

### 7. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Seleccionar en la pantalla de visualización de Modo Automático Prueba A o “Lavado de inyectores sucios”.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 17:** Opciones de prueba para modo automático.



- Cerrar la válvula bypass de baja al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de baja presión a 60 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de alta presión a 1500 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Presionar ok para iniciar prueba.

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- Esta prueba es muy importante porque permite desprender y expulsar del interior del inyector depósitos carbonosos, sedimentos y partículas nocivas para el funcionamiento de los mismos y que afectan la cantidad de entrega de combustible.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Al finalizar la prueba, llevar a la posición inicial a las válvulas limitadoras de presión.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.



<b>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.</b>			
<b>PRÁCTICA Nº</b>	<b>3</b>	<b>NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA</b>	
<b>FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:</b>	<b>10/02/2013</b>	<b>FECHA DE ENTREGA:</b>	<b>03/03/2013</b>
<b>TEMA:</b>	<b>MODO AUTOMÁTICO PRUEBA B ENTREGA DE COMBUSTIBLE A ALTA PRESIÓN.</b>		<b>CALIFICACIÓN:</b>

## **6. OBJETIVOS A CUMPLIR.**

- Realizar el test mediante la simulación controlada de pulsos de inyección a manera de aparentar que se encuentra trabajando en el interior del vehículo.
- Verificar por medio de las probetas graduadas que todos los inyectores entreguen la misma cantidad de combustible en el mismo tiempo y velocidad. El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.

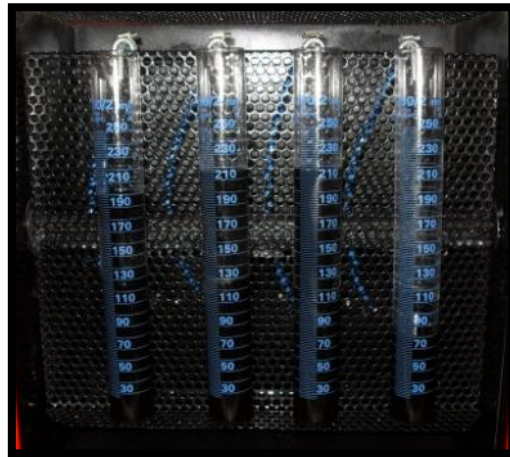
## **7. EQUIPO**

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca

## **8. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.**

- Seleccionar en la pantalla de visualización de Modo Automático Prueba B o “Entrega de combustible a alta presión”.
- Cerrar la válvula bypass de baja al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de baja presión a 60 psi, ajustando la válvula reguladora de presión respectiva.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.

- Presurizar el circuito de alta presión a 2000 psi, ajustando la válvula reguladora de presión respectiva.
- Presionar ok para iniciar prueba.
- Verificar la entrega de líquido de calibración en las probetas.



Fuente: Grupo de investigación.

Figura 18: Entrega a alta presión.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

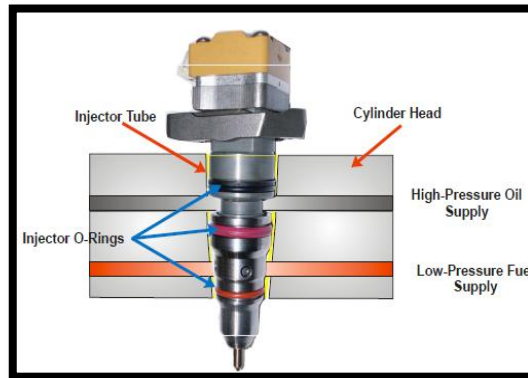
- Para el desarrollo de esta prueba, se utilizó un maestro en buenas condiciones, para tomar los parámetros de entrega de combustible y el tiempo de llenado en las probetas graduadas.

Tabla No.5: Parámetro de entrega.

<b>Entrega</b>	220ml
<b>Tolerancia</b>	200 ml (10%)
<b>Tiempo de llenado</b>	42seg

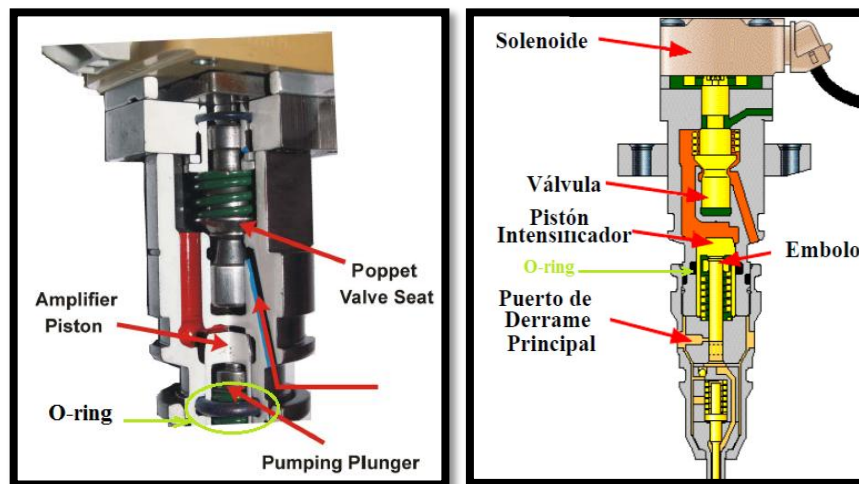
Fuente: Adeco Ltda.

- Cuando los o-rings internos y externos están deteriorados, se produce el paso de presión del sistema de aceite al sistema de combustible, afectando la medida de entrega en las probetas debido a la pérdida de presión. Figuras 19 y 20.



Fuente: Adeco Ltda.

**Figura 19:** O-ring en las Galerías de aceite y combustible.



Fuente: Adeco Ltda.

**Figura 20:** O-ring interno del pistón intensificador y cilindro

- Debido a los combustibles de baja calidad o contaminados, el calor produce transformaciones de sus componentes en: carbonilla, lacas y óxidos. Las lacas se adhieren a las agujas de las toberas, anulando su movimiento (tobera remordida y deformada) como también lo hacen la oxidación o la corrosión, afectando la medida de entrega en las probetas
- La tobera con orificios obstruidos por los depósitos carbonosos o las partículas sólidas en el combustible, los elementos desgastados y fuera de calibración también influyen en la medida de entrega.

## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- Las fugas de presión, elementos en mal estado y fuera de calibración afectan directamente a la medida de entrega de fluido en las probetas graduadas.
- El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.
- Cambiar los o-rings externos del inyector para la realización de la prueba para evitar el paso de presión de circuito de aceite al circuito de combustible.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas.

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA INFORME DE PRÁCTICA EQUIPO DE DIAGNÓSTICO H.E.U.I.			
PRÁCTICA Nº	4	NOMBRE ALUMNO: CARLOS SANGUCHO WILMER ALANUCA	
FECHA DE REALIZACIÓN DE PRÁCTICA:	10/02/2013	FECHA DE ENTREGA:	03/03/2013
TEMA:	MODO AUTOMÁTICO PRUEBA C ENTREGA DE COMBUSTIBLE A BAJA PRESIÓN.		CALIFICACIÓN:

## 6. OBJETIVOS A CUMPLIR.

- Realizar el test mediante la simulación controlada de pulsos de inyección a manera de aparentar que se encuentra trabajando en el interior del vehículo.
- Verificar por medio de las probetas graduadas que todos los inyectores entreguen la misma cantidad de combustible en el mismo tiempo y velocidad. El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.

## 7. EQUIPO

- Equipo de diagnóstico H.E.U.I.
- Inyectores de prueba.
- Herramienta de palanca

## 8. DESARROLLO DE PRÁCTICA

- Seleccionar en la pantalla de visualización de Modo Automático Prueba C o “Entrega de combustible a baja presión”.
- Cerrar la válvula bypass de baja al reservorio de aceite.
- Presurizar el circuito de baja presión a 60 psi, ajustando la válvula limitadora de presión respectiva.
- Cerrar la válvula bypass de alta al reservorio de aceite.

- Presurizar el circuito de alta presión a 870 psi, ajustando la limitadora de presión respectiva.
- Presionar ok para iniciar prueba.
- Verificar la entrega de líquido de calibración en las probetas.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Esta prueba se realiza a 870 Psi, debido a que es la mínima presión para que un motor con inyectores H.E.U.I. se encienda. A continuación se muestra los parámetros para este Test.

**Tabla No.6:** Parámetro de entrega.

<b>Entrega</b>	140ml
<b>Tolerancia</b>	126ml (10%)
<b>Tiempo de llenado</b>	40seg

Fuente: Adeco Ltda.

- La tobera fuera de los rangos de calibración y elementos desgastados, afectan la entrega de combustible en las probetas.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Las fugas de presión, elementos en mal estado y fuera de calibración afectan directamente a la medida de entrega de fluido en las probetas graduadas.
- El rendimiento de cada uno no debe superar un 10 por ciento entre todos los inyectores.
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas

## 9. MODO DE PRUEBA USUARIO.

El modo usuario es un agregado para las pruebas, en donde podemos realizar las pruebas descritas de forma manual. Permite variar los siguientes parámetros:

- Número de repeticiones.
- Ciclo de trabajo.



**Fuente:** Grupo de investigación.

**Figura 21:** Modo usuario.



**ANEXO D ARTÍCULO DEL PROYECTO.**

# **SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.**

Sr. Carlos Sangucho AUTOR  
Sr. Wilmer Alanuca AUTOR  
Sr. Néstor Romero AUTOR  
Sr. Guido Torres AUTOR

ING. Néstor Romero  
naromero@espeedu.com  
ING. Guido Torres  
grtorres@espe.edu.ec

Departamento de Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército, Extensión Latacunga.  
Quijano de Ordoñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador.  
wiltuning@yahoo.es  
carlos.sangucho@yahoo.com

## **RESUMEN**

El proyecto consiste diseño y construcción de un sistema de simulación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustible para inyector diesel electrónicos H.E.U.I, con el fin de simular el comportamiento de un motor en pleno funcionamiento, y así poder generar un diagnóstico del inyector.

El motivo que fue crear un sistema de simulación accesible y con un bajo presupuesto en relación a sistemas de diagnóstico de alta gama, creándolo para comprobar el óptimo funcionamiento de los inyectores hidráulicos luego de una reparación de sus componentes, creando un control amigable para el usuario.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La inyección electrónica ha sido un punto muy importante en el mercado de los vehículos pesados diesel como en vehículos livianos, los cuales han sido implementados con sistemas que tratan de mejorar el rendimiento de un motor eliminando la contaminación producida por mezclas ricas, dados por daños al tener un mal mantenimiento en los mismos, generando pérdida de potencia y falla en el comportamiento del motor.

Además este proyecto consta de un control electrónico, el cual viene programado específicamente con parámetros reales al de un motor a distintos ciclos de trabajo, contando con tres modos de operación modo manual, automático y usuario. En los cuales se determinan los diferentes parámetros de trabajo y condiciones al que va a ser sometido el inyector a probar.

## 2. BOMBA HIDRÁULICA DE ALTA Y BAJA PRESION

Una bomba produce movimiento de líquido o caudal pero no genera la presión, porque está en función de la resistencia al paso del fluido que se genera en el circuito. Así, por ejemplo, la presión a la salida de una bomba es cero cuando no está conectada al sistema (no está en carga), pero si la misma bomba se conecta a un circuito (carga), o simplemente se le tapona el orificio de salida, la presión aumentará hasta vencer la resistencia de la carga (válvula de seguridad).

Para la selección se tomó en cuenta el funcionamiento real del motor, es decir a partir de un solo eje se impulsa a la bomba de alta presión de aceite y la bomba de combustible.

Mediante la investigación realizada se determinó la presión y el caudal necesario para activar los inyectores tablas anteriores. A partir de estos criterios se procedió a la selección de la bomba doble CBTF3126F1, existente en el mercado.

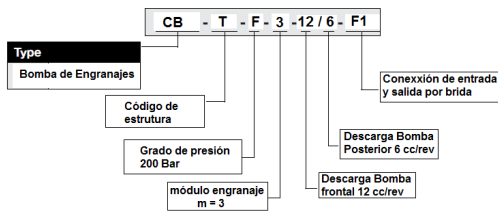


Figura 1 Especificación de la bomba



Figura 2: Bomba hidráulica.

## 3. MOTOR ELÉCTRICO

De acuerdo a los resultados obtenidos se elige un motor de 7,5 Hp trifásico que existe en el mercado.



Figura 3 Motor WEG

## 4. SELECCIÓN DEL ACOPLAMIENTO MECÁNICO.

Los acoplamientos tienen por función prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí.

Los acoplamientos flexibles son diseñados de tal manera que sean capaces de transmitir torque con suavidad, en tanto permiten cierta desalineación axial, radial o angular. Para nuestra aplicación se ha seleccionado un acoplamiento flexible de quijadas, el cual tiene dos masas con quijadas protuberantes, estas quijadas se superponen axialmente y se entrelazan torsionalmente a través de un inserto elástico de hule.



Figura 4: Acoplamientos

## 5. VALVULA DE ALIVIO

Las válvulas de alivio evitan que la presión del sistema aumente por encima de un valor establecido. Cuando el sistema se sobrecarga la válvula se abre y el flujo de la bomba se descarga directamente al depósito de aceite. Si la descarga de la válvula dura mucho tiempo, produce calentamiento en el aceite, por el paso de gran cantidad del mismo, por un orificio muy pequeño.



Figura 5: Válvula de alivio RV3 y housing para la aplicación.

## 6. SISTEMA DE BAJA PRESIÓN.

Funciona a 60 PSI, por lo tanto se selecciona una válvula RV3 -10 - S - 0 – 3 y housing de aluminio.

Tabla No 1. Código de modelo

<b>RV3</b>	Válvula de alivio
<b>10</b>	Tamaño
<b>S</b>	Ajuste por tornillo
<b>0</b>	Tamaño del puerto 3/8
<b>3</b>	Rango de presión de apertura 3,5 - 20 bar (50 - 300 psi)

## 7. SISTEMA DE ALTA PRESIÓN.

Funciona entre 725 y 3000 PSI. La válvula de alivio seleccionada es una RV5 10 – S – 0 – 36 y housing de Aluminio.

Tabla No. 2: Código de modelo.

<b>RV3</b>	Válvula de alivio
<b>10</b>	Tamaño
<b>S</b>	Ajuste por tornillo
<b>0</b>	Tamaño del puerto 3/8 in.
<b>36</b>	Rango de presión de apertura 41 - 250 bar (600 - 3600 psi)

## 8. SELECCIÓN VALVULAS DE PASO.

Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión, evitando el consumo de innecesario potencia, alargando la vida de los elementos y el fluido de operación, y son las siguientes.

### a) VALVULA DE PASO PARA EL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN BBVM20080200K.

Tabla No. 26: Parámetros de operación.

Size	Part Number	Maximum Working Pressure	
		PSI	Bar
1/2"	NPT BBVM20080200K	5000 PSI	345
	SAE BBVM21080001M	5000 PSI	345



Figura 6: Válvula de paso de alta presión para la aplicación.

### b) VALVULA DE PASO PARA EL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN 2BVL2008FL.

**Tabla No. 3:** Parámetros de operación

Part No.	Size NPT	Max Working Pressure	Lbs KQ
2BVL-20 06 F	3/8" in mm	928 PSI 64 Bar	0.28 0.13
2BVL-20 08 F	1/2" in mm	435 PSI 30 Bar	0.41 0.19
2BVL-20 12 F	3/4" in mm	435 PSI 30 Bar	0.67 0.30

## 9. MANOMETROS

Los manómetros son los aparatos destinados a medir la presión del fluido en una línea del sistema.

**Tabla No. 4:** Parámetros de operación de los manómetros

Presión Sistema Hidráulico		Manómetros	
Unidad	Psi	Psi	Bar
Baja	60	0-160	0-10
Alta	870-3100	0-3000	0-204
Precisión	1,50% de la escala		



**Figura 7:** Manómetro utilizado para la aplicación.

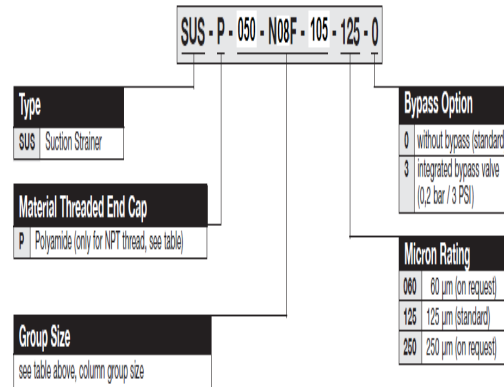
## 10. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

### a) Filtros de aspiración

Estos filtros deben instalarse a un nivel tal que no le permita aspirar los lodos y posos sedimentados en el fondo del depósito, ni tampoco el aire del interior del depósito cuando baje el nivel del fluido.

El diseño del circuito hidráulico consta de dos filtros de succión para los sistemas de alta y baja presión. Se ha seleccionado filtros de paso total de aceite, tomando en cuenta el grado de filtración recomendado para el diseño líneas de succión y que cumple ampliamente los requerimientos.

Se ha seleccionado dos filtros de succión SUSP050N08F1051250 de 125 µm.



**Figura 8:** Identificación de filtros de succión.



**Figura 9:** Filtros de succión para la aplicación.

### b) Filtros de retorno

Su misión principal es la filtración del fluido una vez ya ha circulado por los elementos y teóricamente arrastra consigo los contaminantes generados por el propio circuito. La filtración se realiza a baja presión (menor que 7 bares). Tiene un grado de filtración de 10 a 160 µm.

Para la línea de retorno se ha seleccionado el conjunto filtro, soporte y manómetro de saturación que cumplen con los requerimientos del sistema. Se ha seleccionado filtros de retorno SF-6504 de 25µm.



Figura 10: Filtro de retorno Stauff.

### 11.RESERVORIO DE ACEITE

El reservorio almacena el aceite, elimina el calor y separa el aire del aceite. Los tanques deben tener resistencia y capacidad adecuadas, y no deben dejar entrar la suciedad externa.

Para la selección, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Disponer de suficiente superficie para que el fluido caliente pueda enfriarse, por convención, transferir su temperatura al ambiente que le rodea.
- Almacenar un volumen de fluido grande, aproximadamente de dos a tres veces el caudal que entrega la bomba.
- Disponer de una cámara de aire que facilite la eliminación del aire disuelto en el fluido.

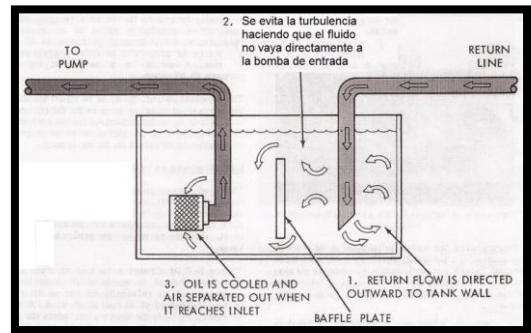


Figura 11: Reservorio de aceite estándar.

### 12.MANGUERAS HIDRÁULICAS

Seleccionamos mangueras hidráulicas, con los siguientes valores empíricos que son los recomendados para adquirir la mínima caída de presión con un razonable diámetro interior de manguera.

- Línea de succión (A): 0.6 – 1.5 m/s.
- Línea de presión (B): 2 - 4.6 m/s.

**Los parámetros de selección de mangueras son los siguientes:**

- La presión de trabajo.
- El caudal.
- La caída de presión admisible.
- La compatibilidad

### SELECCIÓN DE MANGUERAS

- Mangueras de baja presión (presión de combustible):  
SAE 100RA6 – 1/2" 2,76 Mpa - 400 Psi.
- Mangueras de alta presión (Presión de inyección):  
SAE 100R2AT - 1/2" 27,5 Mpa – 4000 Psi.

### 13.FLUIDO HIDRÁULICO DE CALIBRACIÓN.

El fluido de calibración diesel Rock Valley C - 3112 Type II, es un fluido de referencia utilizado en los equipos de

prueba de inyección diesel. Además cumple con los exigentes límites especificados para las pruebas y el desarrollo de las piezas originales.

#### Especificaciones del líquido lubricante.

- Viscosidad: 10.81 cSt @ 29 C (84.2 F) ASTM D-445 ESPEC. 10.00-11.00
- Gravedad Especifica: 0.8693 @ 60F (15.5C) ASTM D-1298 ESPEC. 0.865-0.888



Figura 12. Fluido de prueba

#### 14. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL SISTEMA HIDRAULICO.

El circuito hidráulico realizado representa la simulación y funcionamiento del sistema de inyección H.E.U.I., para el banco de pruebas de inyectores. Consta de dos circuitos: el circuito inferior simula el sistema de alimentación de combustible y el circuito superior, simula la alimentación de aceite para la presión de inyección.

El diagrama hidráulico está dotado de un motor eléctrico, una bomba doble de alta y baja presión, válvulas de alivio y sus respectivos manómetros para verificar la presión de trabajo de cada sistema, además el circuito para su funcionamiento utiliza un solo líquido de calibración, para el sistema de alta y baja. Los inyectores están representados por dos pistones de simple efecto.

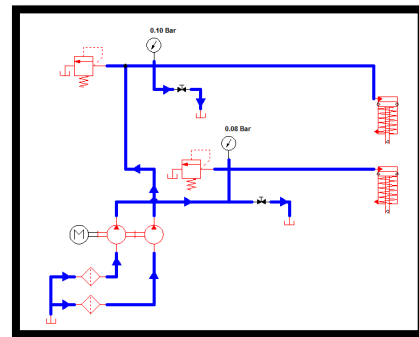


Figura 13: Simulación del circuito hidráulico.

#### 15. UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO

Contiene toda la circuitería necesaria para el funcionamiento total del banco H.E.U.I., consta de los siguientes módulos: una fuente de alimentación para dispositivos electrónicos, una fuente de potencia para la activación de los inyectores, una tarjeta de medición de temperatura y tarjeta principal para todas las funciones.

#### COMPONENTES DE LA UNIDAD DE CONTROL.

##### a. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5 - 12V.

Es utilizada para la alimentación de los dispositivos electrónicos y para la alimentación del circuito de control de temperatura.



Figura 14: Fuente de alimentación de 5 - 12 VCD.

**Tabla No. 5:** Características de operación de la fuente de alimentación de 12 VCD.

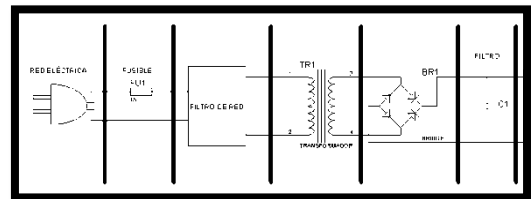
<b>Características de la fuente de alimentación</b>	
<b>Utilización</b>	Diseñada para suministrar energía a los dispositivos electrónicos
<b>Alimentación y consumo</b>	120VAC-60Hz
<b>Voltaje de salida DC</b>	5- 12 V.
<b>Corriente salida</b>	0.8 y 2.6 A
<b>Protección</b>	Contra sobrecargas y cortocircuitos

#### b. FUENTE DE POTENCIA PARA LA ACTIVACIÓN DE LOS INYECTORES.

Circuito que suministra alimentación a los inyectores que necesitan ser accionados para su respectiva prueba. La tensión que suministra la red eléctrica es alterna (AC) y excede en mucho el voltaje necesario para activar algún dispositivo, por lo que se debe insertar un circuito electrónico que transforme, el voltaje y tipo de corriente de la red (120v AC en Ecuador) en voltaje y tipo de corriente (AC o DC) necesario para un circuito.

El circuito se alimenta por la red eléctrica, pasa por un fusible de protección que evita sobrecargas y llega al transformador, el cual permite transformar una tensión alterna de entrada en una tensión alterna de salida de distinto valor. A continuación en la siguiente fase, se pasa de voltaje alterno VCA a voltaje continuo VCC, a través de un elemento llamado puente rectificador de diodos y dispositivos de voltaje continuo

La señal rectificada pasa por una fase de filtrado para eliminar al máximo las oscilaciones, esto se consigue por medio de condensadores, que retienen la corriente y la dejan pasar lentamente para suavizar la señal.



**Figura 15:** Fuente de alimentación para activar los inyectores

Para la activación de los inyectores H.E.U.I. es necesario una energía de alimentación de 80 voltios de c.c. a un máximo de 10 A. Por lo tanto nuestro sistema de alimentación y potencia está diseñado dentro de estos parámetros para obtener una salida de 80 V y 40 A VCD.

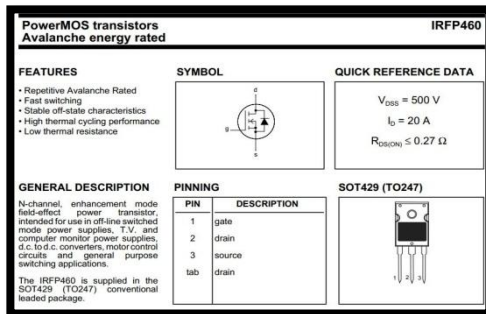
**Tabla No. 6.** Características de operación de la fuente de potencia

<b>Características de la fuente de alimentación</b>	
<b>Utilización</b>	Diseñada para suministrar energía a los inyectores HEUI
<b>Alimentación y consumo</b>	120VAC-60Hz
<b>Voltaje de salida DC</b>	80 V.
<b>Corriente salida</b>	40 A.
<b>Protección</b>	Contra sobrecargas y cortocircuitos
<b>CONECTORES</b>	Inserción por cable o borneras

#### c. PLACA DE POTENCIA

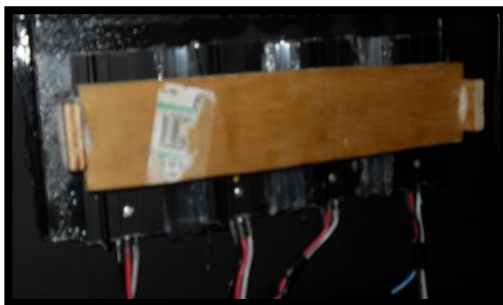
Para el diseño de las placas de potencia se implementaron Mosfets de potencia en este caso los IRFP460 que tienen las siguientes características:





**Figura 16:** Mosfet IRF utilizado para la aplicación.

Se escogió este tipo de mosfet, ya que los voltajes y corrientes de trabajo son suficientes para el manejo del inyector alrededor de 500 voltios de trabajo y 20 amperios de paso de corriente y nuestro sistema necesita una fuente de 80 a 110v y una corriente por inyector de 10 amperios tenemos cubierto cada salida para cada inyector.



**Figura 17:** Mosfet de activación para los inyectores.

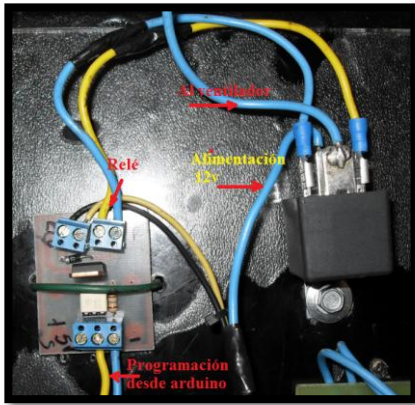
**Tabla No. 7:** Características del circuito optocoplador 4n25.

Características de la fuente de alimentación	
<b>Utilización</b>	Diseñada para acoplamiento óptimo y un aislamiento eléctrico del sistema digital y de potencia.
<b>Alimentación y consumo</b>	5V, 12 VCD y 115 VCD
<b>Canales de control</b>	4
<b>Protección</b>	Contra sobrecargas y cortocircuitos en cada inyector
<b>Conectores</b>	Inserción por cable borneras

#### d. CONTROL DE LA TEMPERATURA.

Este circuito permite leer la temperatura del líquido de limpieza para activar el sistema de enfriamiento y asegurar el funcionamiento óptimo del inyector, con el objetivo de mantener la entrega sólida del combustible a pesar de los cambios de viscosidad causados por la variación de la temperatura del fluido de calibración y prolongar su vida útil.

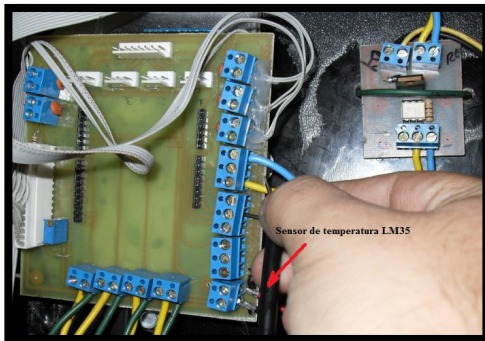
Esta función detecta que si temperatura es mayor a 40 grados centígrados se encienda un relé de 12v para activar un electro ventilador que enfría al sistema. Está compuesto por dos sensores de temperatura, situados en la parte de succión y retorno del tanque de aceite.



**Figura 18:** Cuito de control de temperatura.

Como sensores de temperatura se utilizó el LM35, que es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C. Su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV, por lo tanto:

- 150°C = 1500mV
- -40°C = -400mV

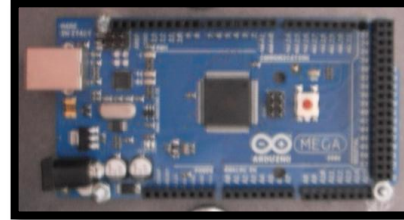


**Figura 19:** Conexión del sensor de temperatura en la placa arduino.

**e. TARJETA PRINCIPAL.**

Es el encargado de ejecutar, enviar y recibir todas las señales del banco de pruebas H.E.U.I. El cerebro del diseño electrónico es una placa arduino con un microcontrolador Atmega 2560, que trabajaba en conjunto con los otros

módulos para el funcionamiento del todo el sistema.



**Figura 20:** tarjeta principal y placa arduino mega.

**10. MODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA**

A continuación se describe la forma de operación del sistema de control para la del banco H.E.U.I. El banco está diseñado para realizar cuatro pruebas en diferentes modos.

**Tabla No.8:** Modo de operación del sistema.

DESCRIPCIÓN	PRUEBA	DISPAROS	LINEA	PSI	T1(µs)
MODO MANUAL	Fuga y activación de la bobina	0	1	1500	1500
					500
MODO AUTOMÁTICO	Prueba A "Lavado de inyectores sucios"	1000	1234	1500	1500
	Prueba B "Entrega de combustible a alta presión"	2000	1234	2000	1500
	Prueba C "Entrega de combustible a baja presión"	2000	1234	870	700
MODO USUARIO	Lavado de inyectores sucios	Permite variar el número de disparos	1234	1500	Permite variar el ciclo de trabajo
	Entrega de combustible a alta presión			2000	
	Entrega de combustible a baja presión			870	

Al encender el control electrónico, en la pantalla LCD aparecen las siguientes opciones, previamente descritas en la tabla 38. Con la ayuda de los navegadores se proceden a escoger las distintas pruebas a realizar, según la necesidad del operador.



**Figura 21:** Menú del sistema para las pruebas.

### MODO MANUAL

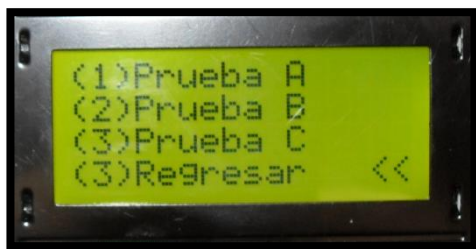
Modo utilizado para realizar la prueba de fuga y activación de la bobina, Esta prueba se realiza inyector por inyector, para una mejor visualización de la falla. Para habilitar o deshabilitar las señales de salida de cada inyector se ha incorporado un conmutador on/off en cada línea de activación de la bobina según el inyector a probar.



**Figura 21:** Conjunto de conmutadores en la señal de cada bobina del inyector.

### MODO AUTOMÁTICO

Dentro de este submenú se definen las siguientes tres tipos de pruebas:



**Figura 22:** Opciones de prueba para el modo automático

- **Prueba A o Lavado de inyectores sucios.**

Trabaja con un periodo de 50% o lo que es lo mismo 1.5ms en alto y en bajo simulando unas 2000 RPM con un número de inyecciones de 1000 para la primera prueba.

- **Prueba B o Entrega de combustible a alta presión.**

Trabaja con un periodo de 50% en alto y en bajo simulando unas 2000 RPM con un numero de inyecciones de para la primera prueba.

- **Prueba C o Entrega de combustible a baja presión.**

Trabaja con un periodo de 0.7ms o 23.3% en alto y 1.300ms o 76.6% en bajo simulando unas 2000 RPM con un número de inyecciones de 2000 para la primera prueba.

### MODO DE PRUEBA USUARIO.

Finalmente tenemos la última opción del menú principal, que es un agregado para las pruebas, en donde tenemos el control completo del sistema, que permite variar los siguientes parámetros:

- Número de repeticiones.
- Ciclo de trabajo.



**Figura 23:** Opciones de prueba para el modo usuario.

Dentro de este modo se puede escoger la cantidad de repeticiones que se quiere que el inyector trabaje que van desde 0 a 5000 como límite, un manejo del ciclo de trabajo que va desde el 10% al 80% de apertura del inyector en un periodo total de trabajo de 3ms por ser este el adecuado para estos tipos de inyectores.

Las opciones regresar sirve para salir del submenú y la de aceptar sirve para cuando se han seleccionado los pasos anteriores y enviar a ejecutar las respectivas pruebas en los inyectores.

## CONCLUSIONES

- La implementación del dispositivo de simulación, diagnóstico y comprobación de inyectores H.E.U.I. para el Laboratorio de Reparación diesel de la ESPEL, se considera un aporte trascendental para la comunidad, ya que se da solución a la necesidad de contar con un equipo de pruebas adecuado para esta clase de inyectores y de bajo costo, además se constituye en un proyecto aplicable para un taller de servicio diesel grande o pequeño.
- Los estudiantes y futuros profesionales tienen la oportunidad de realizar prácticas, conocer el funcionamiento del sistema inyección H.E.U.I. y estar en la capacidad de realizar diagnósticos, detectar fallas y formular reparaciones.
- Es necesario reforzar los conocimientos adquiridos en las aulas, mediante clases prácticas, a fin de complementar la formación integral de los futuros profesionales.
- El laboratorio de Reparación Diesel no está equipado adecuadamente con un equipo de pruebas para el sistema de inyección H.E.U.I., por lo que la realización de este proyecto es viable.
- La investigación exhaustiva realizada y el asesoramiento de varios expertos en el tema fue fundamental para el diseño y construcción del presente proyecto de grado.
- Se logro crear un sistema de diagnostico que cumple con las exigencias del mercado, implementando los conocimientos adquiridos, creando un ahorro en su presupuesto.
- Al implementar un mismo fluido para la línea de alta como la de baja presión se evitó un desperdicio del fluido de pruebas.
- Se implementó el mismo sistema de flujo hidráulico que el de un motor diesel marca International, logrando que lo inyectores se encuentren refrigerados en todo momento por la línea de baja presión.
- El sistema hidráulico consta de válvulas de venteo que evitan que el sistema este en toso momento presurizado evitando que el fluido se caliente, y presurizando el sistema en el momento necesario.
- Se realizó un menú amigable y de fácil acceso para las diferentes pruebas a las que son sometidos los inyectores.
- Contamos con opciones que presentan parámetros establecidos que ayudaran a realizar un diagnostico rápido y eficiente.
- Las pruebas establecidas fueron creadas en base al verdadero comportamiento de un motor en su condición baja y alta de trabajo.
- Es de fácil programación, por medio del programa Arduino.

## RECOMENDACIONES

- Motivar e incentivar la realización de estos proyectos, que fortalecen el aprendizaje y la enseñanza de nuestra carrera.
- El estudiante debe tener pleno conocimiento de las aplicaciones del sistema de inyección H.E.U.I. en maquinaria y equipo pesado, que actualmente se comercializan y estipular las ventajas con relación a sistemas de inyección diesel convencionales.
- Leer detenidamente el manual del servicio para familiarizarse con el funcionamiento y operación del equipo de pruebas H.E.U.I
- Cuando el sistema hidráulico no trabaja, aliviar la presión a través de las válvulas bypass al tanque, para evitar el consumo innecesario de potencia.
- Verificar el nivel de fluido de calibración para evitar daños al sistema hidráulico.
- Verificar el indicador de saturación del filtro de retorno, para determinar el estado del aceite.
- Al finalizar la prueba, llevar a la posición inicial a las válvulas limitadoras de presión.
- Encender el equipo de diagnóstico, solo cuando todos los inyectores estén instalados en la matriz.
- No encender el equipo de diagnóstico, sin antes ajustar los inyectores sobre la matriz con el dispositivo de ajuste.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas para salvaguardar la

integridad del operador y del equipo de diagnóstico.

## BIBLIOGRAFIA

- Alerich, W. (1990). *Control de Motores Eléctricos*. México: Diana.
- Chapman, S (2005). *Máquinas Eléctricas* (4<sup>ta</sup> ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Farrango, R. (2005). *Circuitos Neumáticos Eléctricos e Hidráulicos*. España: Marcombo.
- Gil, H. (2003). *Manual de Mecánica Industrial*. (Tomo 2). España: Cultural.
- Manual de Diagnóstico de los Motores Diesel para Camiones DT-466E e International® 530E.
- Manual de Servicio para Motores Diesel DT-466E e International® 530E.
- Manual de Diagnóstico Electrónico para Motor Diesel 3100 H.E.U.I.
- Manual Caterpillar motor 3126E para camión.
- Manual Caterpillar motores 3408E y 3412E.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos* (6<sup>ta</sup> ed.). México: Pearson Education.
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (4<sup>ta</sup> ed.). México: Pearson Education.
- Norton, R (1999). *Diseño de Máquinas*. México: Pearson Education
- Roldan, J. (1998). *Neumática Hidráulica y Electricidad Aplicada* (6<sup>ta</sup> ed.). Madrid, España: Paraninfo.

- Stewart, H. (2005). *Energía Hidráulica y Neumática Industrial*. Madrid, España: Interoceánica.
- Villalba, C. (2011). *Metodología de la Investigación Científica*. Ecuador: Sureditores.

Latacunga, Mayo de 2013

AUTORES:

---

Carlos Mauricio Sangucho Leines

---

Wilmer Bolívar Alanuca Morales

EL DIRECTOR DE CARRERA:

---

Ing. Juan Castro Clavijo

UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO:

---

Dr. Rodrigo Vaca Corral