

**PUESTA A PUNTO DE LOS BANCOS DE PRUEBA TST-C PARA BOMBAS DE  
INYECCION DIESEL Y HUS 1001 PARA INYECTORES ELECTRONICOS  
DIESEL DE LA EMPRESA CONSTRUVICOL S.A.**

**DANIEL EDUARDO AMAYA FUENTES  
RODRIGO ARTURO JIMÉNEZ CANABATE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA  
2015**

**PUESTA A PUNTO DE LOS BANCOS DE PRUEBA TST-C PARA BOMBAS DE  
INYECCION DIESEL Y HUS 1001 PARA INYECTORES ELECTRONICOS  
DIESEL DE LA EMPRESA CONSTRUVICOL S.A.**

**DANIEL EDUARDO AMAYA FUENTES  
RODRIGO ARTURO JIMÉNEZ CANABATE**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director  
PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO  
Ingeniero Mecánico, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA  
2015**

## DEDICATORIA

*A la memoria de mi tía Ibeth Cecilia Amaya Díaz... Estaré triste por su ausencia, pero su recuerdo alegre llevaré siempre conmigo.*

*A mi madre Erena Fuentes y a mi padre Carlos Amaya, quienes con su amor, sus consejos y el esfuerzo incesante de formar a sus hijos, son los verdaderos autores de este logro.*

*A mi hermana María Alejandra, quien desde la distancia me apoyó y esperó perenne con los brazos abiertos.*

*A mi novia Estefany Caviedes, por su entrega y dedicación... por acompañarme y brindarme todo el apoyo que necesitaba. Además, a todos aquellos amigos que me acompañaron en el proceso y lo hicieron una experiencia inolvidable para mi vida.*

*DANTE*

## DEDICATORIA

*Este trabajo de grado lo dedico a:*

*Díos... Por la vida, su amor y fidelidad incondicional para conmigo.  
“SI EL SEÑOR NO CONSTRUYE LA CASA, EN VANO SE CANSAN  
LOS CONSTRUCTORES”*

*Mi hermano Víctor, su esposa Miladys e hijas. Por los buenos deseos  
y el apoyo que me han brindado todo el tiempo.*

*Mis padres Víctor y Nelly. Por su amor, y el dedicar sus vidas con  
esfuerzo y paciencia para hacer de mí y mis hermanos una familia  
unida; llena de principios y valores cristianos.*

*Mis hermanos Nelly, Ana y Carlos, que han sido la voz de aliento  
cuando siento quedarme sin fuerzas para seguir adelante.*

*Mis hermanos de comunidad, que gracias a sus correcciones y  
oraciones han cuidado de mí, para que yo no perdiera de vista a  
Díos y mi razón de estar en Bucaramanga.*

*Familiares y amigos, que siempre estuvieron pendientes de mí, en el  
proceso de formación profesional, dándome los ánimos para seguir  
adelante y superar los obstáculos que se me presentaron.*

**RODRIGO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Pedro José Díaz Guerrero, magíster en ingeniería mecánica, docente de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander; por su dirección y orientación en la elaboración de la tesis.

Orlando Santos Serrano, instructor SENA; por prestar su experiencia y conocimiento para el desarrollo de la temática, además, del uso de las herramientas técnicas necesarias para llevar a cabo el proyecto.

Juan Carlos Escalante, ingeniero mecánico, gerente del área de mantenimiento de CONSTRUVICOL S.A y a todo el grupo de trabajo de la empresa; por la confianza depositada.

Carmen Tarazona, secretaria de la decanatura, facultad de físico-mecánicas de la Universidad Industrial de Santander; por su gestión y colaboración incondicional.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	19
1. PRELIMINARES DEL PROYECTO .....	21
1.1. OBJETIVOS.....	21
1.1.1. Objetivo general.....	21
1.1.2 Objetivos específicos.....	21
1.2. GENERALIDADES DE CONSTRUVICOL S.A .....	23
1.2.1 Reseña histórica.....	23
1.2.2 Actividad comercial.....	24
1.2.3 Misión.....	25
1.2.4 Visión.....	25
1.2.5 Organigrama general.....	25
1.2.6 Sistema de gestión integral -SGI-.....	27
1.2.7 Área de mantenimiento.....	28
1.3 PARQUE AUTOMOTOR.....	29
1.3.1 Clasificación de motores.....	30
2. ESTADO DEL ARTE.....	37
2.1. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN EN MOTORES DIESEL .....	37
2.1.1. Historia de la inyección diésel.....	37
2.2. SISTEMAS MECANICOS .....	38
2.2.1. Bomba en línea PE-A -BOSCH- .....	39
2.2.2. Bomba rotativa VE -BOSCH-.....	41
2.3. SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICO.....	43
2.3.1 Inyector MEUI –CUMMINS-.....	44
2.3.2 Inyector HEUI -CATERPILLAR-.....	45

2.4. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA .....	47
2.4.1 Diagnostico preliminar .....	47
3. METODOLOGIA DE PUESTA A PUNTO .....	55
3.1 BANCO TST-C.....	55
3.1.1 Guía de operación. ....	60
3.1.2. Protocolo de puesta en marcha. ....	65
3.1.3. Pruebas bomba en línea PE-A.....	70
3.1.4. Pruebas bomba rotativa VE. ....	83
3.2. BANCO HUS-1001 .....	94
3.2.1. Guía de operación. ....	100
3.2.2 Protocolo de puesta en marcha .....	103
3.2.3. Pruebas.....	105
3.3 PROBADOR EUS-1001 .....	111
3.3.1 Guía de operación .....	113
3.3.2 Protocolo de puesta en marcha. ....	114
3.3.3. Pruebas.....	118
3.4. GUIAS PARA REALIZAR PRUEBAS .....	120
3.5. FORMATO DE INGRESO AL LABORATORIO .....	130
4. CONCLUSIONES .....	132
5. RECOMENDACIONES.....	134
BIBLIOGRAFIA.....	136
ANEXOS.....	139

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Clasificación de motores -maquinaria pesada- .....	31
Cuadro 2. Clasificación de motores -vehículos-.....	33
Cuadro 3. Sistemas verificables en banco TST-C. ....	34
Cuadro 4. Sistemas verificables en banco HUS 1001. ....	35
Cuadro 5. Sistemas no verificables en bancos. ....	36
Cuadro 6. Suministro a plena carga -bomba en línea-.....	80
Cuadro 7. Tabla de pruebas bomba en línea PE-A. ....	83
Cuadro 8. Suministro a plena carga -bomba rotativa- VE.....	92
Cuadro 9. Tabla de pruebas bomba rotativa VE.....	93
Cuadro 10. Prueba de caudal inyector HEUI. ....	109
Cuadro 11. Resultados de suministro inyector HEUI. ....	111
Cuadro 12. Prueba de caudal del inyector MEUI. ....	120
Cuadro 13. Guía de pruebas bombas en línea. ....	121
Cuadro 14. Guía de pruebas bombas rotativas. ....	124
Cuadro 15. Guía de pruebas inyector HEUI. ....	127
Cuadro 16. Guía de pruebas inyector MEUI .....	129
Cuadro 17. Formato de control del laboratorio.....	130

## LISTA FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Fachada sede principal Girón. ....	23
Figura 2. Organigrama general de la empresa. ....	26
Figura 3. Sistema de gestión integral.....	27
Figura 4. Retro-excavadoras KOMATSU.....	29
Figura 5. Vibro-compactador CATERPILLAR.....	30
Figura 6. Bomba en línea PE-A -BOSCH-.....	40
Figura 7. Vista en corte de la bomba. ....	41
Figura 8. Bomba rotativa VE -BOSCH-.....	42
Figura 9. Vista en corte Inyector MEUI -CUMMINS-.....	44
Figura 10. Vista en corte Inyector HEUI -CATERPILLAR-.....	46
Figura 11. Variador de frecuencia.....	51
Figura 12. Banco TST-C. ....	55
Figura 13. Motor primario.....	56
Figura 14. Variador de frecuencia.....	57
Figura 15. Porta-probetas. ....	58
Figura 16. Manifold del banco TST-C. ....	59
Figura 17. Panel de control y visualización 1.....	60
Figura 18. Panel de control y visualización 2.....	61
Figura 19. Panel de control 3.....	63
Figura 20. Interface digital. ....	65
Figura 21. A) Depósito de combustible. B) Filtro de malla. Banco TST-C.....	67
Figura 22. A) Brida. B) Acople. ....	68
Figura 23. Dibujo del acople bomba rotativa VE.....	68
Figura 24. Dibujo de la brida bomba rotativa VE.....	69

Figura 25. Dibujo del acople bomba en línea PE-A. ....	69
Figura 26. Dibujo de la brida bomba en línea PE-A. ....	70
Figura 27. Placa de la bomba en línea PE-A. ....	71
Figura 28. Montaje en el cabezal bomba en línea PE-A. ....	72
Figura 29. Conexión de mangueras bomba en línea PE-A. ....	72
Figura 30. Montaje sensor de la cremallera bomba en línea PE-A. ....	73
Figura 31. Probador manual de inyectores mecánicos. ....	73
Figura 32. Lubricación del eje de levas bomba en línea PE-A. ....	74
Figura 33. Entrega de combustible bomba en línea PE-A. ....	75
Figura 34. Montaje del comparador de caratula bomba en línea PE-A. ....	76
Figura 35. Válvula de retorno bomba en línea PE-A. ....	77
Figura 36. Curva INYECCIÓN Vs RPM bomba PE-A. ....	81
Figura 37. Curva RACK Vs RPM. ....	82
Figura 38. Pruebas bomba rotativa VE. ....	84
Figura 39. Conexión de mangueras bomba rotativa VE. ....	84
Figura 40. Válvula de retorno bomba rotativa VE. ....	86
Figura 41. Tornillos de rebose. ....	86
Figura 42. Medidor de carrera. ....	87
Figura 43. Purga del medidor de carrera. ....	87
Figura 44. Compensador del turbo bomba rotativa VE. ....	89
Figura 45. Diferencia de caudal bomba rotativa VE. ....	91
Figura 46. Curva INYECCION Vs RPM bomba rotativa VE. ....	92
Figura 47. Banco HUS-1001. ....	94
Figura 48. Sistema hidráulico banco HUS 1001. ....	96
Figura 49. Cámaras de pruebas manco HUS 1001. ....	98
Figura 50. Dispositivo detector de fugas banco HUS 1001. ....	99
Figura 51. Panel de control frontal banco HUS 1001. ....	101
Figura 52. Teclado y pantalla LCD del módulo HEUI. ....	102
Figura 53. Estado inicial banco HUS 1001. ....	104

Figura 54. Aceite de prueba contaminado banco HUS 1001 .....	104
Figura 55. Inyector HEUI CATERPILLAR. ....	105
Figura 56. Instalación inyector HEUI.....	106
Figura 57. Aceite de prueba contaminado en la probeta. ....	108
Figura 58. Probador EUS 1001.....	112
Figura 59. Modulo electrónico DEL EUS 1001.....	113
Figura 60. Pantalla del módulo de control EUS 1001 .....	114
Figura 61. Estado inicial CAMBOX .....	115
Figura 62. Adaptadores EUI y EUP .....	115
Figura 63. Lubricación CAMBOX.....	116
Figura 64. Ensamble del CAMBOX.....	116
Figura 65. Acople del cambox al cabezal .....	117
Figura 66. Conexión de mangueras EUS 1001.....	117
Figura 67. Inyector CUMMINS CELECT N14. ....	118
Figura 68. Curva INYECCION Vs PW inyector MEUI.....	120

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Tabla de pruebas de Inyectores HEUI.....	139
Anexo B. Tabla de pruebas inyector CUMMINS N14 .....	141

## RESUMEN

**TITULO:** PUESTA A PUNTO DE LOS BANCOS DE PRUEBA TST-C PARA BOMBAS DE INYECCION DIESEL Y HUS 1001 PARA INYECTORES ELECTRONICOS DIESEL DE LA EMPRESA CONSTRUVICOL S.A.\*

**AUTORES:** Daniel Eduardo Amaya Fuentes. Rodrigo Arturo Jiménez Canabate\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Bomba de inyección, Inyector, Diésel, Banco de prueba, Calibración.

### DESCRIPCIÓN:

En este proyecto de grado se desarrolla una metodología para la puesta a punto de los bancos de prueba *TST-C* y *HUS 1001* de la empresa CONSTRUVICOL S.A. Previamente, se clasifican los vehículos y máquinas de todo el parque automotor, para determinar cuántos de ellos pueden ser inspeccionados con esta tecnología. También, se recurre a documentación teórica y técnica para comprender los sistemas de alimentación y sus métodos de diagnóstico.

La metodología comienza con la identificación de componentes y análisis de funcionamiento del banco; se examinan todos los sistemas de la instalación. Luego, con el manual del usuario, se estudia la operación: cómo hacer el encendido, cómo realizar las mediciones y cómo modificar las condiciones. Después de un diagnóstico preliminar en el que se conoce el estado del banco y las condiciones de su entorno, se procede con el mantenimiento de sus elementos. Para el caso del banco TST-C, se manufacturan dos bridas y dos acoples necesarios para el montaje de las bombas. Finalmente, se realizan pruebas a los inyectores electrónicos HEUI y MEUI; a las bombas convencionales PE-A y VE.

La puesta a punto se complementa con la elaboración de las guías de pruebas y el formato que permite llevar el control de las calibraciones.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero,

## ABSTRACT

**TITLE: SETTING TO PLACE OF TEST BENCH TST-C FOR DIESEL INJECTION PUMP AND HUS 1001 FOR DIESEL ELECTRONIC INJECTORS BY THE COMPANY CONSTRUVICOL S.A..\***

**AUTHORS:** Daniel Eduardo Amaya Fuentes, Rodrigo Arturo Jimenez Canabate\*\*

**KEYWORDS:** Injection pumps, Diesel, test modules, Diesel engine,

### DESCRIPCIÓN:

In this degree project it is develop a methodology for the setting to place of the test bench TST\_C and HUS 1001 by the company CONSTRUVICOL S.A. previously, it were classified vehicles and machines from the fleet, to determine how many of they can be inspected with this technology. As well, theoretical and technical documents were used for improve the knowledge of the sources systems and diagnostic methods.

The methodology begins identifying components and performance analysis of the test bench; all installation systems are examined. Then with the user manual, the operation is studied: how to turn it on, how to perform measurements and how to modify the parameters. After a preliminary diagnosis in which test bench statement and environmental conditions are known, we proceed with the maintenance of its elements. In the case of test bench TST-C, two flanges and two fittings required for assembly of the pumps are manufactured. Finally, tests are done to the HEUI and MEUI electronic injectors; the PE-A and VE conventional pumps, an analysis of results is carried out and then are summarized in tables.

The setting to place is complemented by the development of testing guidelines and format that allow the calibrations control.

---

\* Work Degree

\*\* Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Mechanical Engineering. Director: Pedro Jose Diaz Guerrero

## INTRODUCCION

El desempeño del motor diésel se verá fuertemente afectado si alguna anomalía perturba el sistema de alimentación, debido a que este es el encargado de extraer el combustible desde el depósito de almacenamiento e ingresarlo en la cámara de combustión. Entre sus componentes principales destaca la bomba de inyección; de regulación mecánica o electrónica y los inyectores. Estos elementos son los directos encargados de suministrar el combustible, dosificarlo, atomizarlo y presurizarlo en el momento preciso. Hoy día los fabricantes siguen innovando para mejorar las condiciones en las que ingresa el combustible; de aquí la importancia de contar con una herramienta que permita inspeccionar todos esos elementos.

Los bancos de prueba *HUS 1001*, *TST-C* y el probador *EUS 1001*, son tecnologías que adquiere la empresa para inspeccionar las bombas e inyectores de los motores del parque automotor; verificar su óptima operación y hacer los ajustes correspondientes. El banco *HUS 1001* sirve para comprobar inyectores electrónicos *HEUI*, el *TST-C*, para las bombas en línea y rotativas, el probador *EUS 1001*, para los inyectores electrónicos accionados mecánicamente *MEUI* y las bombas unitarias *MEUP*. Por el desconocimiento de cómo trabajar con ellos, se han dejado en el olvido; desaprovechando su potencial y pagando a talleres externos para recibir ese tipo de servicio. Con el ánimo de tecnificar la empresa y suplir la necesidad, nace la propuesta del presente trabajo; que consiste en poner a punto los equipos y proporcionar una documentación detallada para desarrollar pruebas en ellos.

El desarrollo se ha estructurado en cinco partes o capítulos. El primer capítulo se dedica completamente a describir la empresa *CONSTRUVICOL S.A*; su estructura

organizacional e historia, su actividad comercial, el sistema de gestión integral, etc. Por otra parte, se identifica todo el parque automotor; clasificando la maquinaria, motores y sistemas de inyección para determinar a cuales de estos se les puede realizar inspección en los bancos.

El segundo capítulo contiene el estado del arte. Aquí se menciona, en forma generalizada, de qué se trata el sistema de alimentación en los motores diésel, su importancia y qué elementos lo conforman. Se mencionan brevemente las partes principales y el funcionamiento de los componentes a los cuales se les realiza la inspección en los bancos de prueba: la bomba lineal PE-A, la rotativa VE; de la marca BOSCH, los inyectores MEUI CUMMINS y HEUI CATERPILLAR. También se mencionan algunos métodos de diagnóstico usados por técnicos para la detección de averías.

En el tercer capítulo se presenta la metodología desarrollada para la puesta a punto: se describe el funcionamiento de los bancos de prueba, sus características principales y los principales sistemas que los conforman. Seguido, se da una guía operacional; señalando cada uno de los parámetros que muestran las pantallas de visualización, los rangos de medición, los dispositivos de control, etc. El protocolo de puesta en marcha también se menciona en este capítulo, al detallar el estado en que se encontraron los equipos y la identificación de sus elementos con la ayuda del catálogo de partes y el manual de usuario., luego el mantenimiento realizado y las medidas preventivas que se tomaron. Se detallan los ensayos realizados, describiendo en qué consisten y los pasos efectuados para ejecutarlos. Finalmente, y cómo resultado de esta metodología, se presentan las guías de pruebas; que contienen los pasos a seguir en cada ensayo, un formato para el ingreso de los equipos al laboratorio. Los capítulos cuatro y cinco presentan las conclusiones y recomendaciones, respectivamente.

## 1. PRELIMINARES DEL PROYECTO

### 1.1. OBJETIVOS

**1.1.1. Objetivo general.** Contribuir con la formación profesional del estudiante, y al mismo tiempo, con la tecnificación de las empresas del sector industrial de la región, propiciando así un clima favorable en la relación Empresa-Universidad; por medio de la realización de un trabajo de investigación que permita poner en funcionamiento los bancos de prueba: TST-C, para bombas de inyección diésel; y HUS 1001, para inyectores electrónicos diésel, ubicados en el laboratorio de inyección de la empresa CONSTRUVICOL S.A.

### 1.1.2 Objetivos específicos.

- I. Desarrollar una metodología que permita llevar a cabo la puesta en funcionamiento de los bancos de pruebas TST- C para bombas de inyección diésel y HUS 1001 para inyectores electrónicos diésel.
- II. Llevar a cabo la puesta a punto del banco TST-C realizando a las bombas lineales y rotativas, con base en la información técnica del fabricante y su disponibilidad en el taller, las siguientes pruebas:

Para la bomba de inyección en línea:

- Verificación de la entrega de combustible en cada cilindro.
- Ajuste previo de combustible de referencia o pre-carrera.
- Ajuste de la presión interna de la bomba.
- Ajuste de combustible a plena carga.

- Ajuste de la palanca a baja velocidad
- Ajuste de la palanca a máxima velocidad.

Para la bomba distribuidora rotativa:

- Ajuste de la presión de transferencia.
- Ajuste del variador de avance de la inyección.
- Ajuste de la velocidad de corte.
- Ajuste del suministro máximo.
- Verificación del suministro en ralentí.
- Verificación del caudal de arranque.

III. Llevar a cabo la puesta a punto del banco HUS 1001 realizando a los inyectores tipo HEUI, con base en la información técnica del fabricante y su disponibilidad en el taller, las siguientes pruebas:

- Verificación de la entrega de combustible del inyector.
- Prueba de estanqueidad en el asiento superior de la válvula solenoide.
- Verificación de la presión de apertura de la aguja.

IV. Ensamblar e instalar el probador EUS 1001 al banco TST-C como complemento de la puesta a punto y acondicionar la estación para inspeccionar inyectores del sistema MEUI y MEUP.

V. Elaborar una guía de manejo para cada banco de prueba, que permita detallar la secuencia de calibración característica de cada dispositivo: bombas en línea, bombas rotativas e inyectores electrónicos y desarrollar un procedimiento que permita llevar control sobre los componentes que entran y salen del laboratorio de inyección.

## 1.2. GENERALIDADES DE CONSTRUVICOL S.A

A continuación, en una corta descripción, se revisa brevemente la historia, la estructura organizacional y la actividad comercial de la organización.

**Figura 1. Fachada sede principal Girón.**



Fuente: CONSTRUVICOL S.A. Página web pública de la empresa. [en línea].  
"[citado 15 de febrero de 2015] disponible en: [<http://www.construvicol.com/>]

**1.2.1 Reseña histórica.** Construvías de Colombia -CONSTRUVICOL- inició labores el 13 de agosto en el año 1995 conformando su patrimonio bajo el título de sociedad de responsabilidad limitada -Ltda-, ejecutando proyectos en el sector vial, únicamente.

En el año 1996 ejecutó contratos de obra civil en el municipio de Floridablanca, Santander, trabajando en la elaboración de vías del municipio y prestando el servicio de alquiler de maquinaria pesada. Posteriormente, participaría en proyectos gubernamentales en la construcción de viviendas de interés social, en lo que compete al movimiento de tierras.

En el año 1999 extendió sus servicios y contrató con el municipio de Bucaramanga la administración de los residuos sólidos arrojados al relleno sanitario *el Carrasco*,

encargándose hasta la presente, de la compactación de las casi 500 toneladas de residuos diarios que son llevados hasta allí.

Seguidamente realizó el diseño y construcción del relleno sanitario para la refinería de la empresa COLOMBIANA DE PETROLEOS -ECOPETROL- en la ciudad de Barrancabermeja, Santander; afianzándose así en la elaboración y administración de proyectos encaminados al mejoramiento ambiental de la región.

Más tarde, a partir del año 2002, pasó a constituirse como una sociedad anónima. Hoy en día la compañía ha ampliado su cobertura y patrimonio, a la vez que desarrolla proyectos en el sector minero, en el sector de los hidrocarburos y en el sector vial.

Actualmente cuenta con licencia otorgada por el Gobierno Nacional para administrar la concesión vial “*mesa de los santos*”; recaudando los costos del peaje de la zona y gestionando el mantenimiento de la carretera. A la vez, en el sector de los hidrocarburos, se encarga de la adecuación de terrenos para instalar locaciones petroleras de las empresas: OXY, en el departamento de Arauca; proyecto “*caño limón*”, MANSORAVAR en el departamento de Boyacá, PACIFIC RUBIALES en el Meta; en los campos “*cpe-6*” y “*quifa*”, *entre otros*.

**1.2.2 Actividad comercial.** Como actividad comercial, CONSTRUVICOL S.A., ofrece su servicio en sectores de la economía como lo son: el sector minero, el sector petrolero y/o de hidrocarburos, al igual que realiza múltiples labores propias de la ingeniería civil. Particularmente se encarga de desarrollar locaciones petroleras; acondicionar terrenos por medio del movimiento de tierra y prestar apoyo para la instalación de la infraestructura adecuada para la perforación de pozos. Por otro lado, construye y opera rellenos sanitarios. Se dedica a la

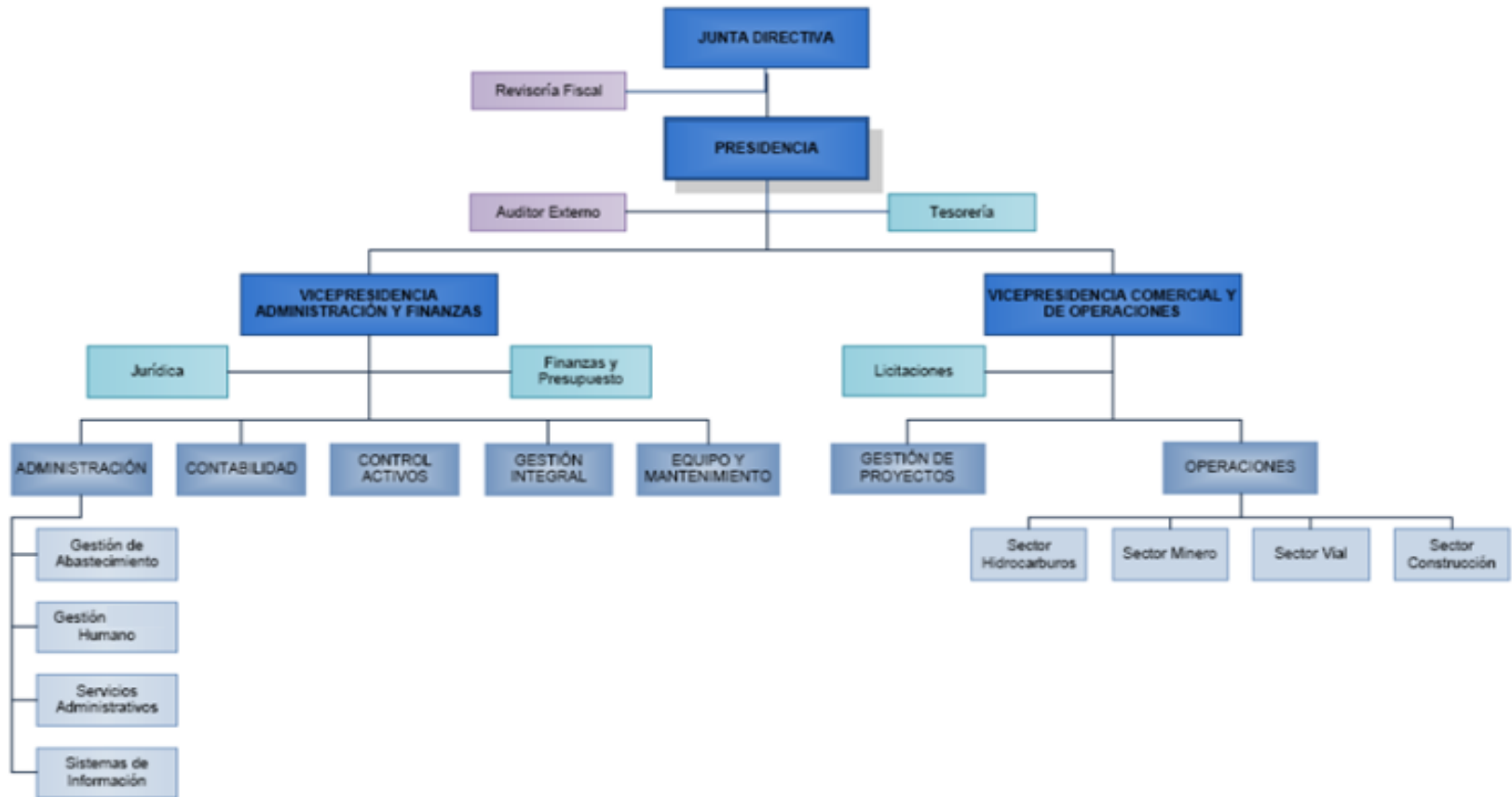
construcción de vías nacionales y su posterior administración, entre muchas otras obras; excavación, levantamiento de puentes, levantamiento de edificaciones, etc.

**1.2.3 Misión.** La misión la empresa reza: “Generamos valor a nuestros grupos de interés, a través del desarrollo de proyectos de infraestructura y minería en el sector industrial cumpliendo con altos estándares operacionales y comprometidos con el desarrollo sostenible”

**1.2.4 Visión.** La proyección de la empresa, como está establecida al interior de la organización es: “Ser el aliado estratégico de preferencia de nuestros clientes actuales y potenciales por contribuir al logro de sus objetivos, garantizando así la continuidad del negocio.”

**1.2.5 Organigrama general.** A continuación se muestra el organigrama general de CONSTRUVICOL S.A.

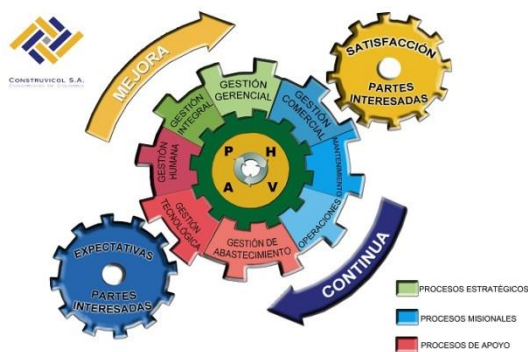
Figura 2. Organigrama general de la empresa.



Fuente: CONSTRUVICOL S.A. Red de comunicación interna de la empresa. [en línea]. "[citado 15 de febrero de 2015] disponible en: (<http://www.intranet.construvicol.com/>).

**1.2.6 Sistema de gestión integral -SGI-.** Una herramienta muy importante para el mejoramiento continuo de la empresa es el sistema de gestión integral -SGI- que se promueve en su interior. Esta estrategia organizacional le permite a la compañía comportarse como un ente completo e integrado, en el que todo está relacionado, y todos, desde el área de operaciones hasta el área de recursos humanos, comparten la misma filosofía y los mismos objetivos.

**Figura 3. Sistema de gestión integral.**



Fuente: CONSTRUVICOL S.A. Red de comunicación interna de la empresa. [en línea]. “[citado 15 de febrero de 2015] disponible en: (<http://www.intranet.construvicol.com/>).

Para *CONSTRUVICOL S.A.* y su SGI, todo el mundo es importante: usuarios, consumidores, trabajadores, accionistas... todos deben resultar satisfechos con el trabajo realizado. El SGI abarca todas las áreas y todos los procesos que se llevan a cabo internamente, desde los que pertenecen a la cadena de valor como: la gestión de proyectos, la gestión de finanzas y contabilidad, la gestión de la calidad, la gestión del medio ambiente y la prevención de riesgos laborales, al igual que la gestión de operaciones y del área de mantenimiento; hasta los que se ejecutan para brindar apoyo como: la gestión tecnológica, el control de activos, la gestión del recurso humano, la gestión de compras, etc. Cabe mencionar también

en este apartado que CONSTRUVICOL S.A. actualmente está certificada en todas sus operaciones.

La SGS COLOMBIA S.A certifica a la empresa en la norma ISO 9001, por su gestión de calidad; la norma ISO 14001, por su gestión ambiental; también certificada por la norma OHSAS 18001, por la gestión de salud ocupacional y seguridad industrial; y la norma RUC 2011, gestión SSOMA contratistas de hidrocarburos.

**1.2.7 Área de mantenimiento.** Sus funciones pasan por establecer los lineamientos que permitan identificar, planificar y realizar las actividades propias del mantenimiento en todo el parque automotor. Estos lineamientos incluyen todas las acciones requeridas para el óptimo funcionamiento de la maquinaria pesada, vehículos de apoyo y equipos menores requeridos en los diferentes proyectos. El área de mantenimiento de CONSTRUVICOL S.A es el lugar clave para la realización de este proyecto, pues es precisamente dando cumplimiento a las metas del SGI de la empresa que la oficina decide poner en marcha un laboratorio de inyección diésel.

Como es sabido, el trabajo con maquinaria pesada genera riesgos de contaminación en el ambiente, debido a las emisiones de gases de combustión. CONSTRUVICOL S.A, certificada bajo normas ambientales, debe mitigar al máximo los posibles daños que genere su operación. Para dar cumplimiento a este propósito, se implementa el laboratorio de inyección diésel con el fin de reparar el sistema de combustible en los motores y evitar que las emisiones sobrepasen los estándares que fija la ley nacional. Este laboratorio está equipado con dos bancos de prueba: el banco TST-C; que posibilita calibrar bombas de inyección diésel tipo convencionales -mecánicas- y el banco HUS 1001; que permite comprobar inyectores electrónicos del sistema HEUI.

### 1.3 PARQUE AUTOMOTOR

CONSTRUVICOL S.A. cuenta con una flota inventariada de 644 equipos. Entre la maquinaria pesada se encuentran: buldóceros, retroexcavadoras (ver figura 4) volquetas articuladas, volquetas rígidas, cargadores, motoniveladoras, vibro-compactadores, etc., y entre vehículos livianos: camionetas, motocicletas, camiones pequeños, entre otros.

Muchas compañías en el mundo se dedican a fabricar esta clase de equipos y una gran variedad de ellas se encuentran dentro del parque automotor. Las que predominan son: CATERPILLAR y KOMATSU para maquinaria pesada, INTERNACIONAL y CHEVROLET, para volquetas. Como cada fabricante diseña o implementa un tipo exclusivo de motor diésel según sus necesidades, es común encontrar que dentro del taller se reparen motores con características diferentes, especialmente, con sistemas de inyección muy distintos en cada caso.

**Figura 4. Retro-excavadoras KOMATSU.**



Fuente: CONSTRUVICOL S.A. Red de comunicación interna de la empresa. [en línea]. [citado 15 de febrero de 2015] disponible en: (<http://www.intranet.construvicol.com/>).

Como en los bancos de prueba adquiridos (TST-C y HUS 1001) no se puede calibrar todo tipo de bombas e inyectores, es conveniente, antes de proceder con la puesta a punto, identificar y clasificar el tipo de motor equipado en cada vehículo y, posteriormente, su sistema de inyección, para confirmar que los bancos representan una utilidad real para el taller. A continuación se muestra la clasificación, con su respectivo tipo sistema de alimentación.

**1.3.1 Clasificación de motores.** En la figura 5 se puede apreciar el vibro-compactador modelo CS533E de la marca CATERPILLAR. Este equipo fabricado en el año 2012, está provisto de un motor diésel modelo 3054C, dotado de un sistema de inyección con bomba rotativa; fabricado por la misma marca. Así como este se encuentran hasta doce unidades en todo el parque automotor.

**Figura 5. Vibro-compactador CATERPILLAR**



En los cuadros 1 y 2 se presenta una síntesis de todos los motores diésel que vienen equipados en los vibro-compactadores y demás equipos propiedad de CONSTRUVICOL S.A. Allí se registran: el modelo y año de la máquina, el modelo del motor y la marca fabricante.

**Cuadro 1. Clasificación de motores -maquinaria pesada-**

MODELO	FABRICANTE	AÑO	MOTOR	MARCA MOTOR	CANTIDAD
<b>VIBROCOMPACTADOR</b>					
SD70A	INGERSOLL RAND	2004	B4.5	CUMMINS	1
SD100DC	VOLVO	2008	4BTA3.9	CUMMINS	12
SD100DC	INGERSOLL RAND	2006-2007	4BTA3.9	CUMMINS	13
SD116DX	INGERSOLL RAND	2006-2008	QSB5.9	CUMMINS	3
DD118HA	INGERSOLL RAND	2005	4B3.9	CUMMINS	1
CS533E	CATERPILLAR	2012	3054C	CAT	12
CB534D	CATERPILLAR	2012	3054C	CAT	1
PS150	CATERPILLAR	2006	3054	CAT	1
<b>BULLDOZER</b>					
D6T_XL	CATERPILLAR	2010	C9 ACERT	CAT	10
D6K_XL	CATERPILLAR	2014	C6.6 ACERT	CAT	5
D8T	CATERPILLAR	2005-2008	C15 ACERT	CAT	10
D4G_LGP	CATERPILLAR	2004	3046T	CAT	1
D4G_XL	CATERPILLAR	2002-2005	3046T	CAT	4
D5G_LGP	CATERPILLAR	2002-2005	3046T	CAT	3
D5G_XL	CATERPILLAR	2003	3046T	CAT	2
D6M_XL	CATERPILLAR	2001-2002	3116T	CAT	2
D7H	CATERPILLAR	1987-1996	3306B	CAT	10
D9T	CATERPILLAR	2005	C18 ACERT	CAT	1
D85EX-15	KOMATSU	2005-2006	SAA6D125E-5	KOMATSU	4
<b>CARGADOR</b>					
MEGA500VT	DOOSAN	2006-2007	QSM11	CUMMINS	4
450	DOOSAN Plus Skid Steer	2007	4TNV98-ZNDS	YANMAR	2
MEGA400V	DAEWOO	2004	DE12TIS	DOOSAN	1
2109	MUSTANG Plus Skid Steer	2008	B4.5	CUMMINS	1
938G	CATERPILLAR	2002-2005	3126B	CAT	2

MODELO	FABRICANTE	AÑO	MOTOR	MARCA MOTOR	CANTIDAD
<b>RETROEXCAVADORA</b>					
320D	CATERPILLAR	2013	C6.4 ACERT	CAT	10
330CL	CATERPILLAR	2004-2006	C9 ACERT	CAT	3
330CLME	CATERPILLAR	2005	C9 ACERT	CAT	4
330DL	CATERPILLAR	2007	C9 ACERT	CAT	3
336DLME	CATERPILLAR	2011	C9 ACERT	CAT	23
345CL	CATERPILLAR	2006-2007	C13 ACERT	CAT	10
345DL	CATERPILLAR	2008	C13 ACERT	CAT	2
365CL	CATERPILLAR	2005	C15 ACERT	CAT	2
DX225 LCA	DOOSAN	2012	DB58TIS	DOOSAN	15
225LCV	DOOSAN	2006-2008	DB58TIS	DOOSAN	9
340LCV	DOOSAN	2006-2008	DE12TIS	DOOSAN	6
500LCV	DOOSAN	2006	DE12TIS	DOOSAN	4
PC200LC-7	KOMATSU	2005-2006	SAA6D102E-2C-8	KOMATSU	4
PC200LC-8	KOMATSU	2006	SAA6D107E-1	KOMATSU	2
PC300LC-7	KOMATSU	2005-2006	SAA6D114E-2A-A	KOMATSU	4
<b>MOTONIVELADORA</b>					
140K	CATERPILLAR	2012	C7 ACERT	CAT	12
140H	CATERPILLAR	2005-2008	3306B	CAT	9
GD511A-3	KOMATSU	2006	S6D95L	KOMATSU	4
<b>RETROCARGADOR</b>					
420E	CATERPILLAR	2007	3054C DIT	CAT	4
420E	CATERPILLAR	2011-2012	C4.4 ACERT DIT	CAT	8
WB140-2	KOMATSU	2002	S4D106-1FH	KOMATSU	1
WB140-2N	KOMATSU	2005-2006	S4D106-2XFH	KOMATSU	2
<b>VOLQUETA ARTICULADA</b>					
730	CATERPILLAR	2006	C11 ACERT	CAT	12
TA27	TEREX	2004-2005	QSL 9	CUMMINS	7
TA27	TEREX	2006	QSM 11	CUMMINS	4
TA30	TEREX	2004-2006	QSM 11	CUMMINS	11
340	CASE	2005	13FB Cursor 13	IVECO	4

**Cuadro 2. Clasificación de motores -vehículos-**

MÁQUINA	FABRICANTE	AÑO	MOTOR	MARCA MOTOR	CANTIDAD
<b>VOLQUETA RIGIDA</b>					
VDKODIAK	CHEVROLET	2009	3126E	CAT	49
VSKODIAK	CHEVROLET	2009	3126E	CAT	30
VDINTER	INTERNATIONAL	2012	ISM-320V	CUMMINS	126
VDINTER	INTERNATIONAL	2013-2014	ISM-350V	CUMMINS	51
<b>TRACTOCAMION</b>					
M2 106	FREIGHTLINER	2006-2008	MBE 900 - OM906LA	MERCEDES BENZ	2
M2 112	FREIGHTLINER	2006-2008	MBE 4000- OM460LA	MERCEDES BENZ	13
7600	INTERNATIONAL	2012	ISM-400V-EPA 98	CUMMINS	2
<b>CARROTANQUE Y CAMIONETA</b>					
CARR_TANQ NPR	CHEVROLET	2011	4HG1T	ISUZU	3
CARR_TANQ NPR	CHEVROLET	2012	4HK1	ISUZU	2
CARR_TANQ FVZ	CHEVROLET	2013	6HK1	ISUZU	5
CARR_TANQ FTR	CHEVROLET	2007	6HK1	ISUZU	2
CARR_TANQ	KENWORTH	2003	ISC 260	CUMMINS	4
CAMION ESTACAS NPR	CHEVROLET	2007-2011	4HG1T	ISUZU	7
CAMION ESTACAS NHR	CHEVROLET	2006	4JB1-TC	ISUZU	2
CAMION ESTACAS CABSTAR	NISSAN	2014	ZD30	NISSAN	5
CAMION ESTACAS 2.8	JMC	2013	4JB1-TC	ISUZU	2
HYLUX D.C PLATON	TOYOTA	2008	1KD FTV	TOYOTA	3
FRONTIER C.S Y D.S	NISSAN	2010-2014	YD25 DDTI	NISSAN	35
X-TRAIL	NISSAN	2011	YD22 DDTI	NISSAN	4

MÁQUINA	FABRICANTE	AÑO	MOTOR	MARCA MOTOR	CANTIDAD
<b>BUSETA</b>					
COUNTY	HYUNDAI	2011	D4DB	HYUNDAI	5
COUNTY	HYUNDAI	2013	D4DD	HYUNDAI	5
URBAN	NISSAN	2011-2013	ZD30	NISSAN	5

Alrededor de 137 equipos tienen un motor constituido con bombas en línea o rotativas. Otros 254 tienen inyectores electrónicos accionados mecánicamente; que pueden ser verificados con el probador EUS 1001. Esto indica que, posiblemente, 372 equipos del parque automotor tienen un dispositivo de inyección que se puede inspeccionar en el banco TST-C. Ver cuadro 3.

**Cuadro 3. Sistemas verificables en banco TST-C.**

TST-C			
MOTOR	MARCA	SISTEMA DE INYECCIÓN	CANTIDAD
3306B	CAT	BOMBA EN LINEA	19
3054C/T	CAT	BOMBA ROTATIVA	18
3046T	CAT	BOMBA EN LINEA	5
3046T	CAT	BOMBA ROTATIVA	5
B4.5	CUMMINS	BOMBA ROTATIVA	2
4B/BTA3.9	CUMMINS	BOMBA ROTATIVA	26
SAA6D102E-2C-8	KOMATSU	BOMBA EN LINEA	4
SAA6D114E-2A-A	KOMATSU	BOMBA EN LINEA	4
S6D95L	KOMATSU	BOMBA EN LINEA	4
S4D106-1FH TIER I	KOMATSU	BOMBA EN LINEA	1
S4D106-2XFH TIER II	KOMATSU	BOMBA ROTATIVA	2
DB58TIS	DOOSAN	BOMBA EN LINEA	24
DE12TIS	DOOSAN	BOMBA EN LINEA	11
4HG1T	ISUZU	BOMBA EN LINEA	10
4JB1-TC	ISUZU	BOMBA ROTATIVA	2
<b>SUB-TOTAL-1</b>			<b>118</b>
C11 ACERT	CAT	MEUI	12
C13 ACERT	CAT	MEUI	12

TST-C			
MOTOR	MARCA	SISTEMA DE INYECCIÓN	CANTIDAD
C15 ACERT	CAT	MEUI	12
C18 ACERT	CAT	MEUI	1
QSM 11	CUMMINS	MEUI CELECT	19
ISM 320V	CUMMINS	MEUI CELECT	126
ISM 350V	CUMMINS	MEUI CELECT	51
ISM 400V	CUMMINS	MEUI CELECT	2
13FB CURSOR 13	IVECO	MEUI	4
MBE 900 - OM906LA	MERCEDES	MEUP	2
MBE 4000 - OM406LA	MERCEDES	MEUP	13
SUB-TOTAL-2			254
TOTAL			372

Por otro lado se encuentran 135 equipos cuyo sistema de inyección electrónico puede ser inspeccionado con el banco HUS 1001 Ver cuadro 4.

**Cuadro 4. Sistemas verificables en banco HUS 1001.**

HUS 1001			
MOTOR	MARCA	SISTEMA DE INYECCIÓN	CANTIDAD
3126B/E	CAT	HEUI	80
C7	CAT	HEUI	12
C9	CAT	HEUI	43
TOTAL			135

La flota restante no se puede inspeccionar con estos bancos. Por ejemplo: el buldócer CATERPILLAR D6K\_XL -año 2014- funciona con inyección "COMMON RAIL", las camionetas NISSAN FRONTIER YD25, funcionan con el sistema "BOSCH VP44; estas tecnologías necesitan bancos más sofisticados.

**Cuadro 5. Sistemas no verificables en bancos.**

MOTOR	MARCA	SISTEMA DE INYECCIÓN	CANTIDAD
C4.4 ACERT	CAT	COMMON RAIL	8
C6.4 ACERT	CAT	COMMON RAIL	10
C6.6 ACERT	CAT	COMMON RAIL	5
QSL 9	CUMMINS	COMMON RAIL	7
QSB5.9	CUMMINS	COMMON RAIL	3
ISC 260	CUMMINS	COMMON RAIL	4
SAA6D107E-1	KOMATSU	COMMON RAIL	2
SAA6D125E-5	KOMATSU	COMMON RAIL	4
YD22 DDTI	NISSAN	COMMON RAIL	4
ZD30	NISSAN	COMMON RAIL	10
4JB1T	ISUZU	COMMON RAIL	2
4HK1-TC	ISUZU	COMMON RAIL	2
6HK1-TC	ISUZU	COMMON RAIL	7
D4DD	HYUNDAI	COMMON RAIL	5
D4DB	HYUNDAI	COMMON RAIL	5
1KD FTV	TOYOTA	COMMON RAIL	3
3116T	CAT	MUI	2
YD25 DDTI	NISSAN	SIST. VP44	35
		<b>TOTAL</b>	<b>118</b>

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN EN MOTORES DIESEL

El sistema de alimentación de un motor diésel tiene como misión otorgar la cantidad exacta de combustible en la cámara de combustión del motor, en el tiempo correcto y en las condiciones óptimas. En el estudio del funcionamiento de motores diésel se encuentra que el aporte de combustible se efectúa mediante un inyector directamente en la cámara dando lugar a la inyección directa, o en una pre-cámara, conociéndose como inyección indirecta. En cualquier caso debe reunir unas determinadas características que resumidas son: elevada presión, dosificación, momento de inyección, regulación, distribución, filtrado, temperatura, entre otras.

El funcionamiento de los diversos sistemas que existen, suele ser en general muy parecido. Cuentan con un circuito de alta presión; encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducido en las cámaras de combustión y un circuito de baja presión; encargado de transportarlo desde el depósito en que se encuentra almacenado. Los componentes principales son: las líneas de combustible, los filtros, las bombas, las válvulas de purga, los inyectores y el depósito. Se pueden agrupar en función de diversas variables, pero la forma de clasificarlos más extendida es: sistemas de inyección mecánica y de control electrónico.

**2.1.1 Historia de la inyección diésel.** En 1893 Rudolph Diesel hizo un contrato con las compañías Augsburg y Krupp para desarrollar un motor de combustión interna más eficiente a los existentes de esa época, uno de los objetivos consistía

en aprovechar como combustible el polvo de carbón que se iba acumulando hasta el punto de formar montañas en los campos de explotación. El primer motor se construyó ese año y quemaba como combustible polvo de carbón al mezclarse con aire. Este motor, al intentar ponerlo en marcha explotó y nunca fue posible su funcionamiento a pesar de muchos intentos, por lo que el petróleo fue el combustible utilizado finalmente. Desde el primer motor diesel fabricado con éxito hasta 1926, cada fabricante diseñó y fabricó su propio motor con el respectivo mecanismo de inyección. En diciembre de 1922 la empresa Bosch de Stuttgart Robert, decidió fabricar su propio equipo de inyección de combustible, y después de años de investigación y desarrollo, construyó su bomba de tirón popular con el control de hélice, para la cual en 1931 se concedió la patente estadounidense No 1.831.649 a Ottmar Bauer. En 1927 se introdujeron los diseños de embolo simple y múltiple. Casi al tiempo se agregaron conjuntos de boquillas de precisión del tipo clavija y de aguja, posteriormente otros componentes como la bomba de suministro, gobernadores, y los filtros se comercializaron. Con el recurso de este sistema de inyección moderno entró en existencia el motor diésel de alta velocidad. En muy poco tiempo, otras compañías comenzaron la producción estandarizada del mecanismo de inyección para todos sus motores y el progreso del sistema de inyección creció a toda marcha<sup>1</sup>.

## **2.2. SISTEMAS MECANICOS**

Son aquellos que contienen bombas inyectoras que no disponen de ningún control de tipo electrónico. El accionamiento de estas se lleva a cabo,

---

<sup>1</sup> FRANK DeLUCA, Chief Fuel Injection Engineer, of American Bosch Arma Corporation pdf history of fuel injection [en línea] [citado 16 de febrero de 2015] disponible en: <http://www.disa.it/pdf/01HystoryOfDieselFuellnj.pdf>

generalmente, por medio del mecanismo de mando de la distribución; accionadas por la propia correa o cadena de la distribución. En vehículos industriales, en los que se utiliza una distribución por tren de engranajes, se dispone de estos para su accionamiento.

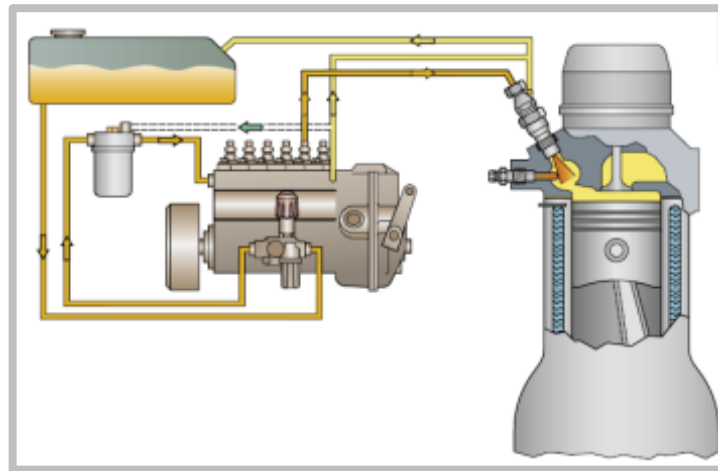
Cabe distinguir estos sistemas de inyección, en función del tipo de bomba inyectora empleado. A continuación se explica, brevemente, las características más importantes del funcionamiento de las bombas en línea y rotativas; empleadas en la puesta a punto de los bancos de prueba.

**2.2.1 Bomba en línea PE-A -BOSCH-** El concepto de bomba en línea fue desarrollado en el año 1927 y aún es utilizado en múltiples aplicaciones, muy específicamente en vehículos comerciales pesados como los camiones CHEVROLET NPR, los buldóceres KOMATSU D85, debido a la generación de presiones altas demandadas por sus grandes motores; también en automóviles como el NISSAN PATROL y algunos motores estacionarios. Las bombas van instaladas junto al motor del vehículo y son accionadas por el mismo. Cada cilindro del motor está conectado a uno de los elementos de la bomba dispuestos en línea, por eso su nombre de bomba en línea. Ver figura 6.

Este modelo de bomba alcanza presiones de hasta 75 [MPa]; este valor depende en todo momento del régimen de giro de la bomba y no es constante a lo largo de la inyección. Una entrega de 120 [ $mm^3/st$ ] y una velocidad máxima de 2000 [rpm]. Para cada cámara de combustión, dispone de un elemento que es independiente de las demás; cada elemento está compuesto por un pistón y un cilindro. El combustible es suministrado a los cilindros por medio de una bomba de transferencia, la cual lo succiona del tanque, lo pasa a través de filtros y lo lleva hasta los orificios de llenado del cilindro. Luego es comprimido por el pistón, el cual es accionado de forma sincrónica por medio de un eje de levas, que a su vez,

es movido por el motor. Cuando el pistón cierra los orificios de llenado del cilindro, se da inicio a la inyección del combustible, que termina cuando una ranura o corte helicoidal hacen coincidir la cámara de alta presión; producida entre el pistón y el cilindro, con los orificios de llenado (ver figura 7). Para ampliar la información acerca del funcionamiento de este tipo de bombas, consultar el libro <sup>2</sup>.

**Figura 6. Bomba en línea PE-A -BOSCH-**



Fuente: BOSCH. Sistemas de inyección diésel BOSCH [en línea] [citado 16 de febrero de 2015] disponible en: [http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF\\_es/Diesel/Sistemas\\_de\\_Inyecci%C3%B3n\\_Diesel.pdf](http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Diesel/Sistemas_de_Inyecci%C3%B3n_Diesel.pdf).

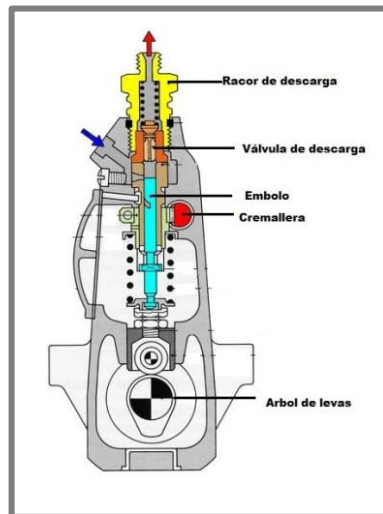
Las averías que se presentan en este mecanismo son de diversas naturalezas. Algunas ocurren por el mal funcionamiento de la bomba de transferencia, al no sujetar correctamente el cebador después de realizar una purga de combustible. Pérdida de la presión residual en la línea de alta presión a causa de un mal funcionamiento de la válvula de descarga, produciendo un mayor consumo de

---

<sup>2</sup> STUTTGART Ernest Ritter”; BOSCH GMBH robert, “bombas de inyección diésel en línea instrucción técnica / 2000.

combustible y emisión de humo blanco, un desgaste excesivo de esta válvula genera una caída repentina de la presión en la tubería de los inyectores, produciendo cavitación y con ella corrosión de la tubería. Pueden ocurrir fracturas en los elementos, debido a que estos reciben altos choques hidráulicos. También se presentan desajustes a causa de las vibraciones durante un tiempo largo de operación de la bomba. Dentro de las principales piezas de desgaste de la bomba en línea se encuentran las válvulas y los elementos.

**Figura 7. Vista en corte de la bomba.**



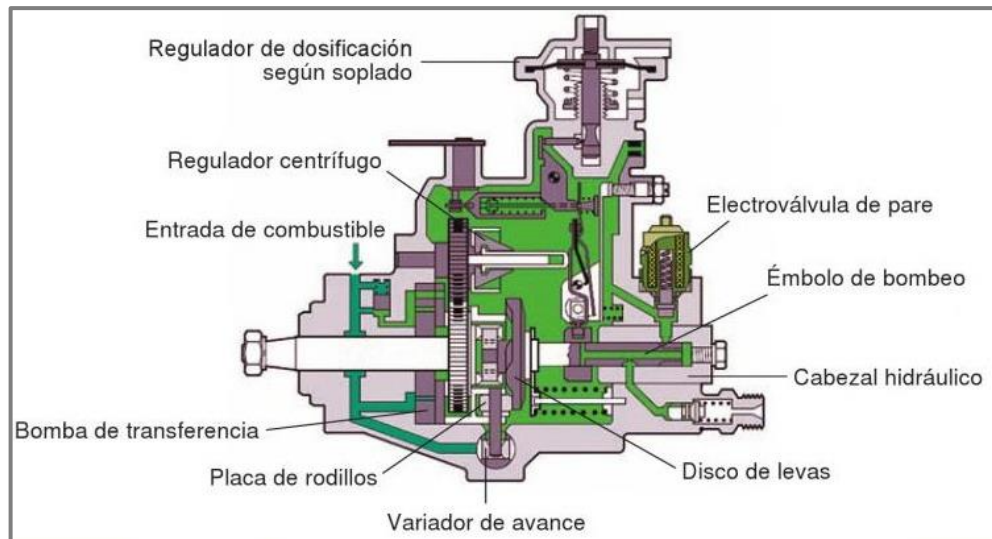
Fuente: BOSCH. Taller de Mecánica. Estructura de las bombas [en línea] [citado 16 de Febrero de 2015] Disponible en: <http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/cursos/bombas1/estructuradelabombaenlinea.html>

**2.2.2 Bomba rotativa VE -BOSCH-** Las bombas rotativas, requieren tolerancias y especificaciones muy estrictas para que se obtenga las características de inyección deseadas. El diseño, el concepto y la apariencia son totalmente diferentes a las bombas en línea y el intervalo de aplicaciones depende del número de revoluciones nominal, potencia y diseño del motor diésel. Se emplean en camionetas como la NISSAN FRONTIER 2.8, vehículos industriales como los

camiones JAC Y CHEVROLET NPR, Vibro-compactadores CATERPILLAR CS533 y motores estacionarios.

Este tipo de bomba alcanza presiones entre 35 y 120 [MPa], una entrega máxima de 120 [ $mm^3/st$ ] y una velocidad de 3000 [rpm]. De su construcción podemos resaltar un eje de transmisión, que es accionado por la correa de distribución del motor. Una bomba de transferencia, que movida por el mismo eje, succiona el combustible del depósito y alimenta el embolo de la bomba. Este embolo incrementa la presión del combustible y lo distribuye en cada inyector con el movimiento que le imprime un disco de levas. Un solenoide para cortar el suministro de combustible y apagar el motor, un regulador; que controla la cantidad de combustible a inyectar y un pistón de sincronización o variador de avance; que controla el tiempo de la inyección. Ver figura 8.

**Figura 8. Bomba rotativa VE -BOSCH-**



Fuente: PÉREZ BELLÓ. Miguel Ángel. *Sistemas Auxiliares Del Motor*. Editorial Paraninfo, ISBN8497328639, 9788497328630 2011. p.245

Se pueden presentar muchos motivos por el cual falle este mecanismo, algunos de ellos pueden ser, toma de aire por las juntas de la bomba, por la tubería de entrada o salida del combustible o por las tuberías de los inyectores, un corrimiento y mala postura de la correa de distribución, desgaste entre sus elementos a causa de una mala lubricación por presencia de agua o suciedad en el combustible. Normalmente las bombas rotativas son más compactas y livianas que las bombas en línea y soportan mayores revoluciones y pueden funcionar en cualquier posición.<sup>3</sup>.

### **2.3. SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICO**

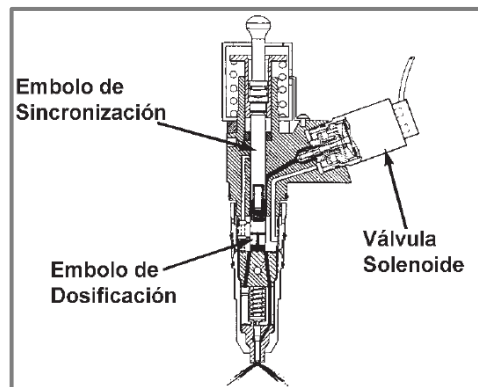
Son los sistemas en los que el control de las diversas variables (en algunos casos, no todas) a que está sometido el combustible se lleva a cabo mediante una tarjeta o módulo electrónico, a partir de la información emitida por unos sensores (parámetros de entrada) y contrastada con su programación; elaborándose unas ordenes de salida para los diversos actuadores. Con este principio de funcionamiento, cabe clasificarlos en las siguientes variantes: bombas en línea y rotativas de control electrónico, sistemas de riel común, sistemas inyector-bomba, sistemas bombas-tubería-inyector. A continuación, sólo se describe el funcionamiento general de los sistemas inyectores-bomba MEUI de CUMMINS y HEUI de CATERPILLAR; utilizados en la puesta a punto de los bancos.

---

<sup>3</sup> BOSCH GMBH. Robert. Diesel Distributor Fuel Injection Pumps, Technical instruction / Bosch. GmbH, Automotive Avermarket Abt., Helmut Tschöke (Maschinenbauingenieur.), Robert Bosch GmbH (Stuttgart) Edición 4. Editor Robert Bosch GmbH, Automotive Avermarket Abt., ISBN3934584381, 9783934584389 p.63 1999.

**2.3.1 Inyector MEUI –CUMMINS-.** Esta unidad de combustible es la primera de control electrónico lanzada por CUMMINS y producida entre los años 1990-2001 para los motores de las series L, N y M; usa el árbol de levas del motor para crear la presión adecuada de inyección. Contendidos dentro del inyector se encuentran: un émbolo de sincronización, un resorte de retorno y una electroválvula de control que junto al solenoide son la clave para el funcionamiento. También un puerto de retorno; que debe estar cerrado para permitir la inyección, el émbolo y el resorte de dosificación, el puerto de retorno de la cámara de sincronización y una boquilla normalmente cerrada. Ver figura 9.

**Figura 9. Vista en corte Inyector MEUI -CUMMINS-.**



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. . Manual de Diagnóstico y Reparación Motores Cummins Serie N14 -pdf- P 6-13. 2001. [en línea] [citado 17 de febrero de 2015] disponible en: <http://es.scribd.com/doc/50122603/Cummins-Manual-de-Diagnostico-y-Reparacion-de-Motores-Serie-14#scribd>.

El inyector es accionado mecánicamente por una biela oscilante y una varilla de empuje, a su vez un brazo de accionamiento crea las altas presiones de combustible. Para controlar tanto la sincronización de la inyección como la cantidad de combustible dosificado, el ECM -módulo electrónico de control- envía una señal PWM al solenoide de cada inyector. En el momento que llega la señal

se determina el inicio de la inyección, mientras que la duración de la misma determina la cantidad de combustible pulverizado por el inyector cuando el émbolo se desplaza en su interior. Una señal de corta duración significa que la carrera efectiva del émbolo en el interior del inyector se reduce, mientras que una de mayor duración significa que aumenta la cantidad de combustible a entregar. El inicio y la duración del pulso lo determina el ECM basado en diversas entradas procedentes de los sensores del sistema<sup>4</sup>.

**2.3.2 Inyector HEUI -CATERPILLAR-** El sistema de inyección HEUI fue inventado por CATERPILLAR en el año 1995 y su producción para motores de 7.3 y 6.0 [L] duró hasta el 2007. En ese periodo de tiempo se aplicó para los motores T444E de NAVISTAR INTERNATIONAL; en los vehículos FORD 350, en los motores CATERPILLAR 3126B/E de volquetas KODIAK CHEVROLET, etc. Se consideró de vanguardia cuando originalmente entró en el mercado, pero hoy día se considera obsoleta en los Estados Unidos. Aún en Latinoamérica se encuentran muchos equipos trabajando con esta tecnología.

Las siglas HEUI hacen referencia a una unidad inyectora hidráulicamente actuada y electrónicamente controlada. Esta unidad realiza cuatro funciones primordiales: elevar la presión del combustible desde 0.4 a 125 [MPa], atomizar el combustible a haciéndolo pasar a través del orificio de la boquilla del inyector, dosificarlo y dispersarlo uniformemente en la cámara de combustión.

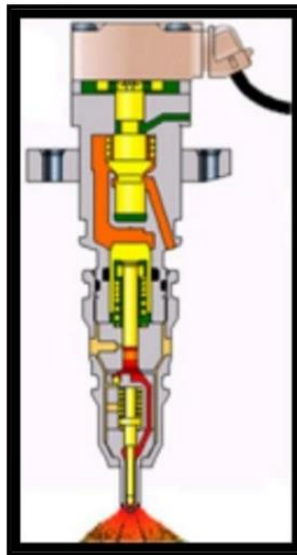
El inyector se divide en dos secciones básicas: una cámara de combustible inferior y una cámara de aceite superior (ver figura 10). Por un lado, una bomba de baja

---

<sup>4</sup> CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de Diagnóstico y Reparación Motores Cummins Serie N14 -pdf- P 6-13. 2001. <http://es.scribd.com/doc/50122603/Cummins-Manual-de-Diagnostico-y-Reparacion-de-Motores-Serie-14#scribd>.

presión suministra el combustible a la cámara inferior, mientras que una de alta presión suministra aceite de motor a la cámara superior. Durante el ciclo de inyección, un actuador permite que el aceite a alta presión entre en la cámara superior y aplique fuerza a un pistón intensificador. Antes, un solenoide recibe una señal eléctrica y crea un campo magnético para atraer el actuador y ceder el paso al aceite. Con una relación de áreas de 6:1, el pistón intensificador aplica una fuerza al combustible de 6 veces la recibida en la cámara superior, alcanzando niveles de hasta 125 [MPa].<sup>5</sup>

**Figura 10. Vista en corte Inyector HEUI -CATERPILLAR-.**



Fuente: DIESEL: Engine systems diesel engine analyst – full. Published on Feb 04, p 85. 2013 [en línea] [Citado 18 de febrero de 2015] disponible en: <http://www.slideshare.net/wilbort/engine-systems-diesel-engine-analyst-full>.

---

<sup>5</sup> GERSHON.UCOZ. Systems Operation 3126B and 3126E CATERPILLAR Truck Engine. Fuel System. Publication Date -01/02/2006. [en Línea] [Citado 17 de Febrero de 2015]. [http://gershon.ucoz.com/ISUZU/HEUI/HEUI\\_Systems\\_Operation\\_3126.pdf](http://gershon.ucoz.com/ISUZU/HEUI/HEUI_Systems_Operation_3126.pdf)

Una ventaja de este sistema respecto a los accionados mecánicamente, es que la presión de inyección es independiente de la velocidad del cigüeñal, por lo tanto se pueden obtener altas presiones del combustible a bajas revoluciones del motor; mejorando así la respuesta del acelerador y brindando un menor consumo.

## **2.4. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA**

En el presente apartado se nombran las metodologías empleadas en los talleres de mecánica diésel especializados, para determinar las averías que se presentan en las bombas de inyección e inyectores del sistema de inyección diésel. Muchas de estas anomalías son detectadas en formas no convencionales y se logran gracias al uso de los sentidos humanos. Hay que resaltar que el éxito de este tipo de diagnóstico depende de la experiencia y habilidades que posea el técnico.

**2.4.1 Diagnostico preliminar.** En primera instancia siempre es el cliente quien aporta al técnico la información inicial; por ejemplo, la actividad que se encuentra desempeñando el equipo y el ambiente al cual está expuesto. Partiendo de ello se procede a escuchar los ruidos producidos por el motor y los humos emitidos al ambiente. No existe un paso a paso específico, por tanto el técnico puede comenzar la inspección desde puntos diferentes<sup>6</sup>.

**2.4.1.1 Análisis de ruidos.** Bien se sabe que toda máquina en funcionamiento es productora de ruidos. El técnico debe diferenciar entre cuales son los ruidos

---

<sup>6</sup> TORRES ALVAREZ Giovanni. Metodología para el diagnóstico del sistema de inyección de motores diesel a partir de las líneas de inyección. aspirante a ingeniero mecánico. publicado en Bucaramanga el 2005. universidad industrial de Santander p 55-65.[en línea] [Citado 30 de febrero de 2015] disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6124/2/116657.pdf>

normales del motor en funcionamiento y cuáles no; es una técnica muy subjetiva que depende de las habilidades de quien inspecciona. En algunos casos se conoce el equipo a tal punto que, por medio de los ruidos, la persona puede diagnosticar tanto el elemento que está fallando como su avería.

**2.4.1.2 Análisis de humos.** El éxito de este método depende de una buena percepción de los pequeños cambios en la tonalidad de los humos emitidos al ambiente, o del uso de una buena herramienta tecnológica. En caso de una buena observación, se puede tener una idea bastante precisa de lo que está sucediendo al interior de la cámara de combustión. Este cambio en las tonalidades de los humos es una forma de código o lenguaje que para la vista de un técnico con experiencia tienen un significado importante. Las tonalidades de los humos emitidos al ambiente por un motor de combustión interna son: humos blancos; se presentan cuando en el circuito de combustión existe una presencia de vapor de agua, humos azulados; son un indicador de que en la cámara de combustión hay presencia de aceite, humos negros; son indicadores de una mala combustión que se debe a una falta de combustible o el exceso de este, en relación al aire que se encuentra en la cámara de combustión.

**2.4.1.3 Inspección visual.** Este diagnóstico es esencial y de mucha importancia para el técnico, porque gracias a la inspección visual se pueden detectar fugas en la tubería de inyección, así como en la bomba y en los racores de los inyectores. También se puede verificar visualmente el montaje de la tubería de inyección para corroborar que en esta no existan demasiados dobleces y codos pronunciados que limiten el caudal del combustible hacia los inyectores.

**2.4.2 Diagnostico en bancos de pruebas.** Cuando los componentes principales del sistema de inyección (bomba e inyectores) presentan desgaste y conviene realizar una comprobación o efectuar un mantenimiento en ellos; deben ser

llevados a un taller diésel especializado. En el taller, el técnico revisará, medirá y probará cada uno de sus elementos, reemplazando aquellos que estén muy gastados o fuera de tolerancia. Para llevar a cabo este servicio de la mejor forma, conviene que la bomba o el inyector -según sea el caso- sean ajustados en un banco de prueba. Realizar este tipo de diagnósticos para la bomba de inyección e inyectores es una metodología que requiere de un consumo adicional de tiempo, ya que se requiere del desmonte de los elementos ubicados en el motor y la instalación en el banco. El objetivo es simular el ambiente del motor en sus diferentes condiciones de trabajo y, por medio de instrumentos de medición (manómetros, tacómetros, probetas, entre otros), verificar el funcionamiento de la bomba e inyectores.

**2.4.2.1 Características generales.** El banco de prueba es el equipo más importante en una estación de servicio diésel. Es la instalación que permite determinar, con la mayor precisión posible, las características más importantes de la inyección; donde el operario examinará y regulará el suministro de combustible para que sea transportado en las condiciones más favorables hacia los diferentes elementos del sistema y al interior de la cámara de combustión. El fin último de este equipo es verificar que la entrega de combustible hacia el motor se esté llevando a cabo dentro de los parámetros óptimos. Para esto utilizará los datos técnicos del fabricante, quien ha diseñado el componente para que trabaje con las necesidades particulares del motor.

Todo banco debe contener, como mínimo, cuatro partes importantes: un *motor eléctrico* que cuente con un mecanismo variador de revoluciones, una *instalación hidráulica* que alimente el aceite de prueba, un *bastidor porta-inyector-probeta*

para hacer las mediciones y una *bancada o mesa* resistente para montar el componente a calibrar.<sup>7</sup>.

No obstante si bien estas piezas son muy esenciales, la más crítica es el conjunto *motor eléctrico-variador de velocidad*. El motor eléctrico debe contar con la potencia suficiente para que durante el esfuerzo máximo, no disminuya su velocidad. No debe presentar deslizamientos y no debe verse afectado al trabajar a plena carga; de lo contrario se traducirá en resultados falsos. Para garantizar esto se requiere que esté conectado a un mecanismo que permita ejercer control sobre las revoluciones, que tenga mucha precisión y brinde la posibilidad de modificar en forma continua la velocidad entre 100 y 4000 [rpm], aproximadamente. Los primeros bancos de prueba empleaban reguladores de velocidad con funcionamiento netamente mecánico, como es el caso del HARTRIDGE 800 en el cual un variador de paso ajustable se vale de unas poleas que modifican su diámetro para variar la velocidad. Están los equipos regulan a través de reóstatos de control y los de última generación que utilizan variadores electrónicos programables como los inversores o variadores de frecuencia Ver numeral 2.4.2.2.

Todo taller diésel bien equipado debe estar provisto, tanto de una instalación para calibrar bombas de inyección, como de una instalación para probar inyectores. “No preocuparse del hecho que todos los inyectores entreguen iguales cantidades de combustible es como no preocuparse si la calibración de la bomba está bien o mal realizada”<sup>8</sup>. Para calibrar la presión de apertura de los inyectores convencionales se hace uso de un probador manual.

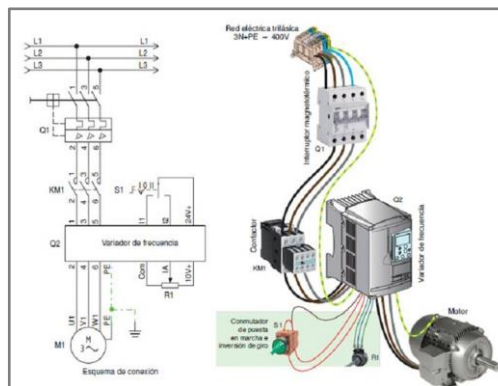
---

<sup>7</sup> MESNY Marcelo. Manual de inyección diésel, tercera edición, página 68

<sup>8</sup> MESNY Marcelo. Manual de inyección diesel. edición: tercera. impreso en buenos aires, librería y editorial ALSINA, 1968. P. 31

**2.4.2.2 El Variador de frecuencia.** Como la velocidad a la que un motor gira depende de la frecuencia, una forma de controlar esta velocidad es mediante un variador de frecuencia. Los variadores de frecuencia se conectan a la red eléctrica y luego al motor que hay que controlar; así van entregando, en forma regulada, una corriente máxima y una frecuencia apropiada para el motor.

**Figura 11. Variador de frecuencia.**



Fuente: REYES ROJAS. Leonardo Iván. Automatismo Industrial. El Variador de Frecuencia. 21 Noviembre, 2014. [en línea] [citado 18 de febrero de 2015] disponible en: <http://automatismoindustrial.com/el-variador-de-frecuencia/>

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna está determinada por la frecuencia de suministro ( $f$ ) y el número de polos en el estator ( $p$ ), de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

Este dispositivo es un convertidor de energía cuya misión es controlar la energía entregada al motor. Se utiliza en motores asíncronos de jaula de ardilla. Sus características permiten: aceleración y deceleración progresiva, fijar con precisión

la velocidad de funcionamiento, limitar la intensidad de arranque, realizar paradas con precisión del motor, inversión del sentido de giro, etc.<sup>9</sup>

**2.4.2.3 Ajuste de bombas.** Una vez montada en el banco de pruebas, la bomba se somete a una serie de pruebas, entre estas, están los ensayos de suministro de combustible. En esta prueba se pone a girar la bomba durante unas vueltas determinadas o durante un tiempo definido, verificando que el caudal inyectado esté dentro de lo que conviene el fabricante. En las bombas rotativas, no deben presentarse diferencias en las entregas entre cilindros; esto debido a que hay un único elemento impulsor. Si se presentan variaciones muy pronunciadas se deben a averías por desgaste, bien sea en el cabezal hidráulico o en la corona de levas; entonces deberán reemplazarse estas partes. En las bombas en línea, se acepta el ajuste del caudal en individualmente, actuando sobre los sectores dentados que hacen girar los émbolos.

Otros ajustes tienen que ver con las presiones internas, en la que se evalúa si el valor de presión suministrada por la bomba de transferencia, se ajusta a los valores teóricos. La rapidez de actuación del regulador en función del tarado de cada bomba, tanto en baja como en alta; a la vez se verifica cómo interviene en la dosificación del combustible, la puesta en fase, etc.<sup>10</sup>.

**2.4.2.4 Ajuste de inyectores.** Si se desea inspeccionar el funcionamiento del inyector, basta con desmontarlo del motor y utilizar el probador manual que cumple esta función. Los ensayos consisten en determinar si el inicio de la

---

<sup>9</sup> REYES ROJAS. Leonardo Iván. Automatismo Industrial. El Variador de Frecuencia. 21 Noviembre, 2014.

<sup>10</sup> BOSCH. Service. Manual de servicio DENSO (reparación), p.43. [http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste\\_en\\_banco.pdf](http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste_en_banco.pdf)

inyección se produce a la presión estipulada y con la pulverización óptima. Para realizar estas verificaciones se dispone de una bomba manual en la que se acopla el inyector, conectándolo al mismo tiempo a una tubería de alta presión que le hace llegar combustible a una determinada presión. La prueba del inyector se efectúa en varias fases, que son las siguientes: *verificación de la pulverización, presión de apertura, goteo, fugas*<sup>11</sup>.

**2.4.2.5 Normas ICONTEC.** La exactitud de las lecturas hechas en un banco de prueba de bomba de inyección depende de la capacidad de este para cumplir, dentro de tolerancias aceptables, todas las demandas dinámicas hechas por la bomba de inyección en particular que se esté ensayando. La norma NTC 4210 define únicamente los requisitos y las características de los bancos de prueba necesarias para asegurar resultados uniformes cuando una bomba de inyección se ensaya de acuerdo con las especificaciones del fabricante y del origen del banco de prueba. Con base en estos datos y otros valores numéricos típicos comunes a la operación de bombas de inyección, la norma suministra los medios para determinar si determinado banco de prueba tiene capacidad de satisfacer las demandas dinámicas de una bomba de inyección en particular.

**Norma NTC 4210-1:** *Ensayos de bombas de inyección de combustible. Parte 1.* Esta norma se propone lograr la fijación y el ajuste correcto de las bombas de inyección de combustible para motores de encendido por compresión suministrando condiciones normalizadas para los ensayos. Se refiere al comportamiento dinámico de los componentes rotatorios del banco de prueba y la bomba sometida a ensayo.

---

<sup>11</sup> MESNY Marcelo. Manual de inyección diesel. Edición: tercera. -- impreso en buenos aires, librería y editorial ALSINA, p. 68. 1968

**Norma NTC 4210-2.** *Parte 2: Condiciones estáticas.* Esta parte de la norma trata sobre los elementos estáticos del banco de prueba, relacionados con el suministro y control del fluido de calibración para la bomba que se ensaya y con la medición de su funcionamiento.

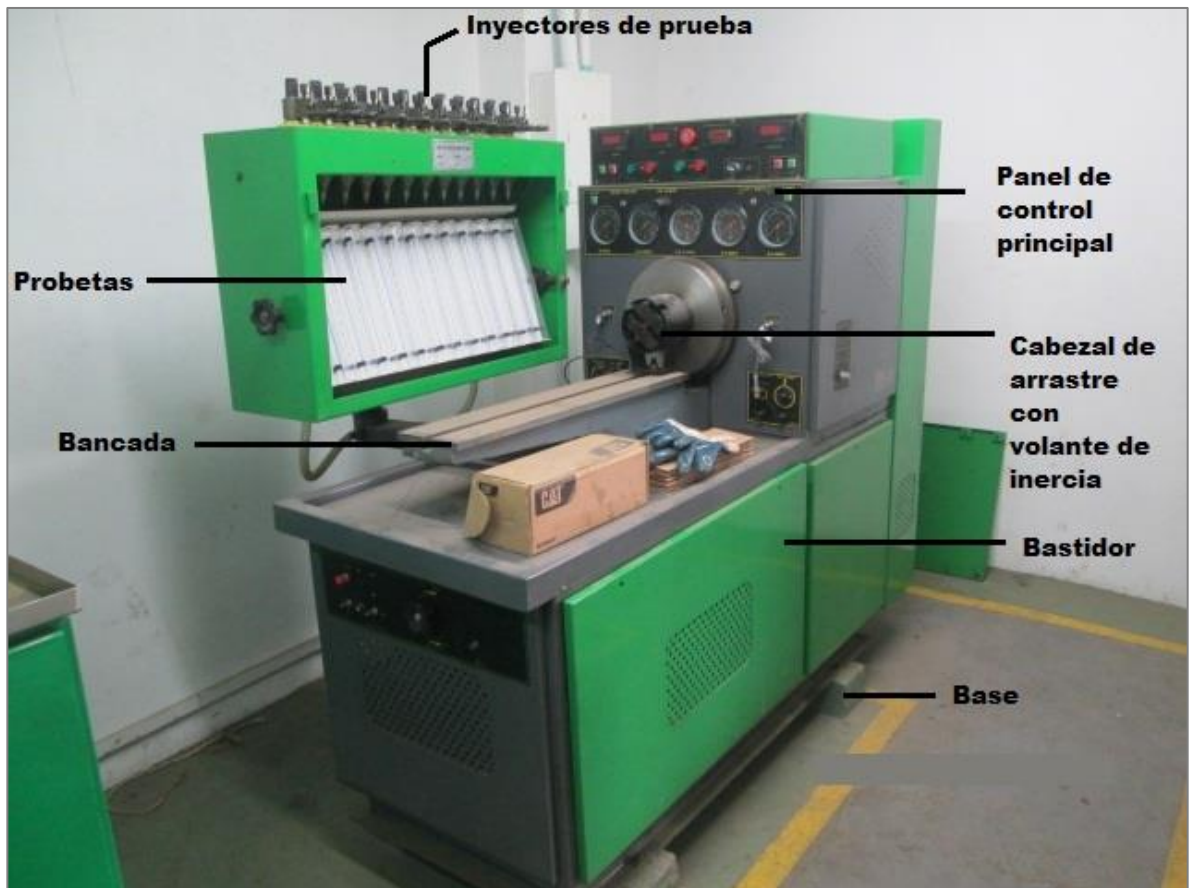
**Norma NTC 4210-3.** *Parte 3: Aplicación y métodos de ensayo.* Complementa los programas de ensayo para bombas de inyección y los requisitos técnicos detallado de las Partes 1 y 2.

### 3. METODOLOGIA DE PUESTA A PUNTO

#### 3.1 BANCO TST-C

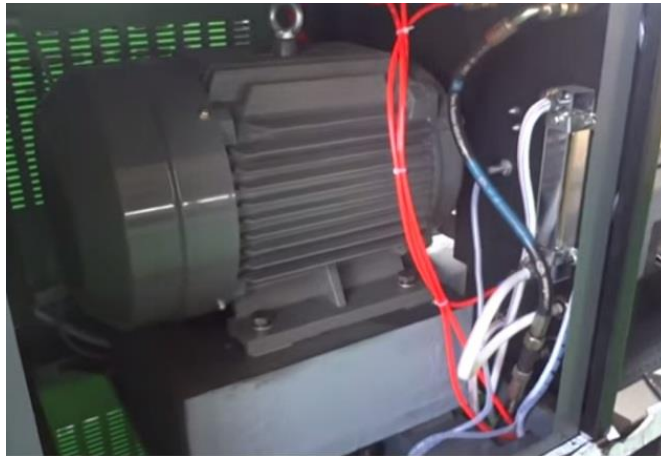
En la figura 12 se muestra el banco de prueba TST-C, de la marca china “*Taian Sunwe Testing Equipment Co., Ltd*”. En esta estación se pueden calibrar bombas en línea y bombas rotativas.

Figura 12. Banco TST-C.



Las dimensiones del equipo son 2 x 1 x 1.8 [m] y posee un peso de 1100 [kg] que está soportado por dos bases hechas en hormigón; suficientes para resistir las vibraciones que se generan por el funcionamiento a altas velocidades. Cuenta con un sistema de propulsión de velocidad variable, para el cual emplea un motor trifásico de 18.5 [Kw]. Alcanza una velocidad máxima de 4000 [rpm] y está empotrado por medio de pernos en uno de los extremos de la bancada, como se ve en la figura 13.

**Figura 13. Motor primario.**



El motor entrega movimiento, directamente, a un volante de inercia de gran masa, el cual lleva un disco goniométrico que permite realizar los ajustes de sincronización. En el mismo eje de rotación, se encuentra un acoplamiento flexible que permite articular bombas de distinta geometría. Estas características mecánicas dan al banco uniformidad en el funcionamiento y estabilidad, para que trabaje con alto número de revoluciones garantizando exactitud en los resultados.

El sistema de control del banco está gobernado por un variador de frecuencia: el DELTA VFD-F con rango de frecuencia 01-120 [Hz] (ver figura 14). Este componente, diseñado para aplicaciones de torque variable, brinda la posibilidad

de modificar en forma continua las revoluciones del motor, e incluso, mantenerlas constantes cuando se desee. Asimismo, permite conectar el equipo al computador para que, a través de la interface de operación, el técnico pueda controlar la temperatura del aceite, ajustar el conteo de las emboladas, entre otras. Además, por medio del variador de frecuencia y la interface digital, el operario puede programar una secuencia de ensayos desde el ordenador.

**Figura 14. Variador de frecuencia.**



Para medir la calibración de la bomba, el banco TST-C, presenta un sistema de probetas graduadas. Para tal efecto emplea un compartimiento surtido con veinticuatro unidades, separadas en dos grupos: uno con capacidad para almacenar 45 [ml] de aceite -en cada probeta- y otro con capacidad para 260 [ml] (ver figura 15). Antes de iniciar un ensayo, las probetas deben inclinarse cierto ángulo para que el chorro, proveniente de los inyectores de prueba, pueda encauzarse hacia su interior.

En la parte superior se ubican los inyectores o toberas de prueba, que pulverizan el aceite y lo direccionan hacia las probetas graduadas. Para tal efecto se emplean unos embudos que, con la ayuda de unos deflectores, amortiguan el impulso del

flujo pulverizado y evitan salpicaduras. Cuando el ensayo finaliza, una bandeja accionada por solenoide se interpone para cortar el paso del aceite y hacer que el líquido sobrante se dirija hacia un múltiple común; en donde es drenado.

El porta-probetas puede rotar respecto al cabezal hasta  $180^\circ$  y debe fijarse en la posición idónea para hacer el trabajo. Esto es necesario porque muchas veces el técnico debe cambiar su ubicación en torno al banco a la hora de hacer las calibraciones correspondientes.

**Figura 15. Porta-probetas.**



Un sistema hidráulico proporciona la alimentación del aceite de prueba. Está diseñado de tal forma que se puede trabajar con un régimen de alta presión; con un alcance máximo de 4 [MPa], o ajustarse para trabajar en un régimen de baja; hasta 0.4 [MPa]. Todo esto es regulado por el bloque multiválvulas -manifold- señalado en la figura 16, el cual puede operarse manualmente desde un panel de control secundario. La bomba de alimentación, accionada por un pequeño motor eléctrico, suministra un caudal constante de 10 [L/min]. El tanque-depósito tiene una capacidad neta de 60 [L] y en su interior lleva una resistencia eléctrica que calienta el aceite de prueba hasta la temperatura requerida por el ensayo, mientras que el conjunto ventilador-radiador, con potencia calorífica de 2000 [W],

se encarga de volver a refrigerarlo. El sistema se completa con los filtros y las válvulas de seguridad habituales en estas instalaciones.

Para simular las condiciones del turbo-alimentador en el motor diésel, el banco de prueba viene equipado con una unidad compresora de aire. La carga que proviene del compresor se toma desde el panel de control secundario y se lleva hasta la bomba de inyección. La presión del aire se puede ajustar en el panel de control 2... Véase numeral 3.1.1... y es necesaria para verificar el funcionamiento del compensador de carga del turbo en las bombas de inyección.

Entre otros accesorios del banco están: tres juegos de tubos de alta presión -doce unidades cada juego- necesarios para conectar la bomba a los inyectores de prueba, mangueras hidráulicas, un juego de tornillo-válvulas de diferentes medidas para la conexión de las mangueras, un sensor para medir desplazamiento de la cremallera, soportes para el montaje de las bombas en la bancada, un computador con la interface digital de operación, entre otros.

**Figura 16. Manifold del banco TST-C.**



**3.1.1 Guía de operación.** Para energizar el equipo se debe accionar el interruptor de encendido que lleva el banco en uno de sus costados. En ese momento se iluminan todas las pantallas del *panel de control y visualización 1*, el cual se puede ver en la figura 17. En total son 4 pantallas que sirven para inspeccionar, de izquierda a derecha en la imagen: el conteo de las emboladas; ajustables en un rango de 0 a 9999, el número de revoluciones del motor eléctrico, la temperatura del aceite de prueba; graduable entre 30-60 [°C] y el ángulo de avance de la inyección; para bombas en línea.

Previamente, antes de dar inicio a los ensayos, se debe calentar el aceite de prueba. En este panel se halla el interruptor del sistema de calentamiento. La posición “0” indica que el sistema está desactivado y la posición “1” indica su activación; un led se ilumina cuando el interruptor se encuentra en esta posición.

**Figura 17. Panel de control y visualización 1.**



Una vez que se ha montado la bomba al cabezal y se han hecho las conexiones correspondientes de la manguera, se debe encender la bomba de alimentación del banco. No es recomendable poner a girar la bomba de inyección en seco, es decir, sin aceite al interior de las cámaras. Para llevar a cabo esto se debe oprimir el botón “ON FUEL” (color verde) en el tablero de control 1 y observar cuando el led

indicador de encendido se ilumina; en este momento se energiza el motor eléctrico adosado a la bomba de alimentación y el aceite de prueba comienza a circular por las mangueras. Si se pulsa el botón “OFF FUEL” (color rojo) se detendrá el suministro.

El botón “ON RPM” energiza al motor eléctrico primario para que accione a la bomba de inyección. Antes, debe seleccionarse el sentido de giro del motor en el *panel de control y visualización 2*, el cual depende del sentido de giro de la bomba de inyección (ver figura 18). Debe determinarse correctamente esta variable para realizar la prueba de sincronización; en cada caso la tabla de calibración indica hacia donde debe girar.

Para fijar la velocidad de rotación se encuentra, en ambos costados del banco, una perilla de ajuste que permite variar la velocidad desde 0 hasta un máximo de 4000 rpm; se debe usar la que corresponda según la posición en la que va a trabajar el técnico –costado izquierdo o derecho del banco-. Para apagar el motor eléctrico, después de terminada la prueba, se debe oprimir el botón “OFF RPM”.

**Figura 18. Panel de control y visualización 2.**



Cuando la bomba está girando y el aceite está circulando por todas las cámaras internas, se procede a iniciar el conteo de las emboladas. Para ello se oprime cualquiera de los botones “COUNT” (color verde) ubicados en los paneles de control 1 y 2. Nuevamente, la ubicación de estos botones es estratégica para que el operario no tenga que moverse de un sitio a otro entorno al banco de pruebas; por tanto debe trabajar con el que esté más próximo. Si se desea detener el conteo antes de finalizar el ensayo, se debe presionar el botón “STOP” (color rojo).

La presión de alimentación del banco puede ajustarse según los requerimientos del ensayo, mediante la perilla del *panel de control 3* (ver figura 19). Si se gira hacia la derecha, se activa el circuito de baja presión; en este momento el manómetro de baja (rango 0-0.4 MPa), en el panel de control 2, empieza a moverse para censar esta carga. Para activar el circuito de alta, se debe girar la perilla hacia la izquierda. En este caso el valor de la presión se visualiza en el manómetro de rango 0-4 [MPa].

En el panel de control 3 está ubicada la toma de aire proveniente del compresor. A este aire requerido para hacer pruebas de sobrealimentación, se le puede ajustar un valor de presión mediante la perilla “AIR ADJUST” que se encuentra en el panel de control 2. Para ajustarla correctamente, el manómetro de rango -0.1 a 0.5 [MPa] brinda esta posibilidad.

**Figura 19. Panel de control 3.**



Para energizar el solenoide de la bomba de inyección rotativa, se dispone de una salida de corriente directa -dc- que puede ser modificada entre 12 y 24 [V] mediante un interruptor. Tanto la conexión como el interruptor están ubicados en el panel de control 3.

Los manómetros de rango 0-0.16 y 0-1.6 [MPa], son manómetros auxiliares que deben usarse para medir presiones externas al circuito de alimentación del banco, como por ejemplo, en el interior de las bombas de inyección. Las tomas de presión de estos manómetros auxiliares se encuentran ubicadas en la parte inferior del panel, próximas al volante de inercia.

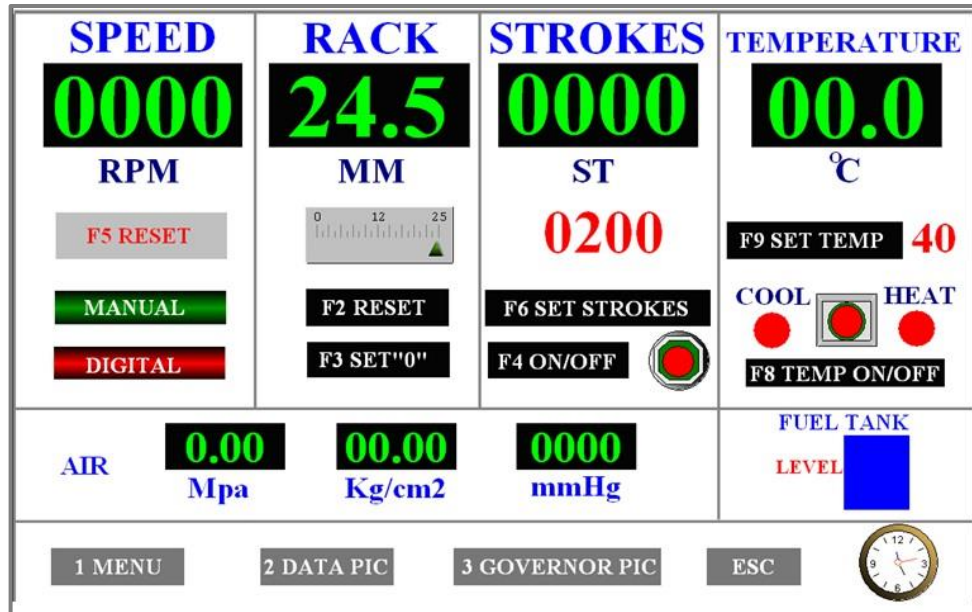
Si por motivo urgente se desea desactivar el funcionamiento del banco, se debe oprimir el pulsador "STOP EMERGENCY" instalado en la parte frontal del panel de control 1. Este botón que permanecerá oprimido mientras se corta la energía al motor eléctrico, a la bomba de alimentación y a la resistencia eléctrica del tanque de aceite, debe restablecerse a su posición inicial cuando se vaya a reiniciar el equipo.

**3.1.1.1 Operación con el computador.** Para manejar el banco desde el computador, se debe conectar el cable de comunicación VGA desde la CPU hasta el variador de frecuencia VFD-F.

Con excepción de la presión de alimentación del sistema hidráulico del banco, las condiciones que se deben fijar para realizar los ensayos de bombas pueden ser ajustadas desde el computador. Por medio de la interface digital figura 20 se pueden definir parámetros como: Velocidad de rotación, posición de cremallera (para bombas en línea), temperatura del aceite, presión de aire, conteo de golpes de inyección, entre otros.

En la interface hay alrededor de 14 comandos disponibles. Desde allí se puede desactivar completamente la operación manual en los paneles de control; para que solo quede habilitado el computador como centro de mando del banco. Se pueden programar secuencias de ensayos, hasta 8 en total, para lo cual se deben establecer diferentes valores de rpm. Los resultados se tabulan y se almacenan en la base de datos del software. Para ampliar un poco más la información acerca de cómo operar el banco de prueba a través del computador, remitirse al manual del usuario. "TST-A,C,CH encpXPtst MANUAL".

Figura 20. Interface digital.



Fuente: TST-A,C,CH encpXPtst MANUAL

**3.1.2. Protocolo de puesta en marcha.** Antes de poner en marcha el banco TST-C se ha adquirido el manual del usuario. El taller de mantenimiento no contaba con esta documentación y ha sido necesaria pedirla directamente a la marca fabricante. Seguidamente, con ayuda del manual y con la lista de partes - contenida en la documentación- se procede a reconocer y realizar inventario de todos aquellos componentes externos que acompañan la instalación: soportes, tuberías, acoples, etc., para verificar que estuvieran completos. Luego, se revisa toda la instalación eléctrica: la conexión de los motores; el de propulsión y el de la bomba de alimentación, la conexión eléctrica del variador de frecuencia, la fuente de poder, etc. También, la conexión de las mangueras en el circuito hidráulico, válvulas, manómetros...

Por último, se procede a identificar cada uno de los instrumentos en los paneles de control, cada uno de los componentes del sistema de accionamiento, de alimentación, control, medición; también se inspecciona el computador con el software de operación y se siguen los pasos para conectarlo al banco de pruebas.

**3.1.2.1 Diagnóstico inicial y mantenimiento previo.** El equipo se encuentra en total estado de descuido; cubierto completamente de polvo. Todas sus partes externas: bancada, cabezal, probetas, inyectores de prueba, etc., e internas: bomba de alimentación, motor eléctrico, mangueras, variador de frecuencia, están permeadas por la suciedad proveniente del taller, pues el local en donde está empotrado el banco no cuenta con el aislamiento óptimo. El aceite de prueba contenido en el depósito luce completamente oxidado junto con el filtro de malla metálica sumergido en él (ver figura 21). Todos los componentes auxiliares desorganizados y dispersados por el lugar. En el momento de encender el banco para realizar la primera inspección del funcionamiento, se detecta que el motor eléctrico de la bomba de suministro gira en sentido contrario haciendo que la succión se efectuó por el lado equivocado; este problema se corrige destapando el motor e invirtiéndole la fase.

El mantenimiento realizado es de carácter preventivo: se empieza por retirar, con ayuda de un compresor externo, el polvo adherido a los componentes del equipo. Luego, se lavan con mucho cuidado las partes usando un poco de acpm. Se reemplaza el aceite del depósito por uno en perfectas condiciones; el filtro oxidado del tanque se envía como muestra a un proveedor para que manufacture otro igual según muestra; esto debido a que no cuenta con un número de parte o referencia que permita conseguirlo en el mercado. Luego, se instala el nuevo filtro. Con todas las partes limpias, se engrasan con EP-2 multipropósito la bancada, el cabezal de arrastre, el eje de giro del compartimiento de las probetas.

**Figura 21. A) Depósito de combustible. B) Filtro de malla. Banco TST-C**



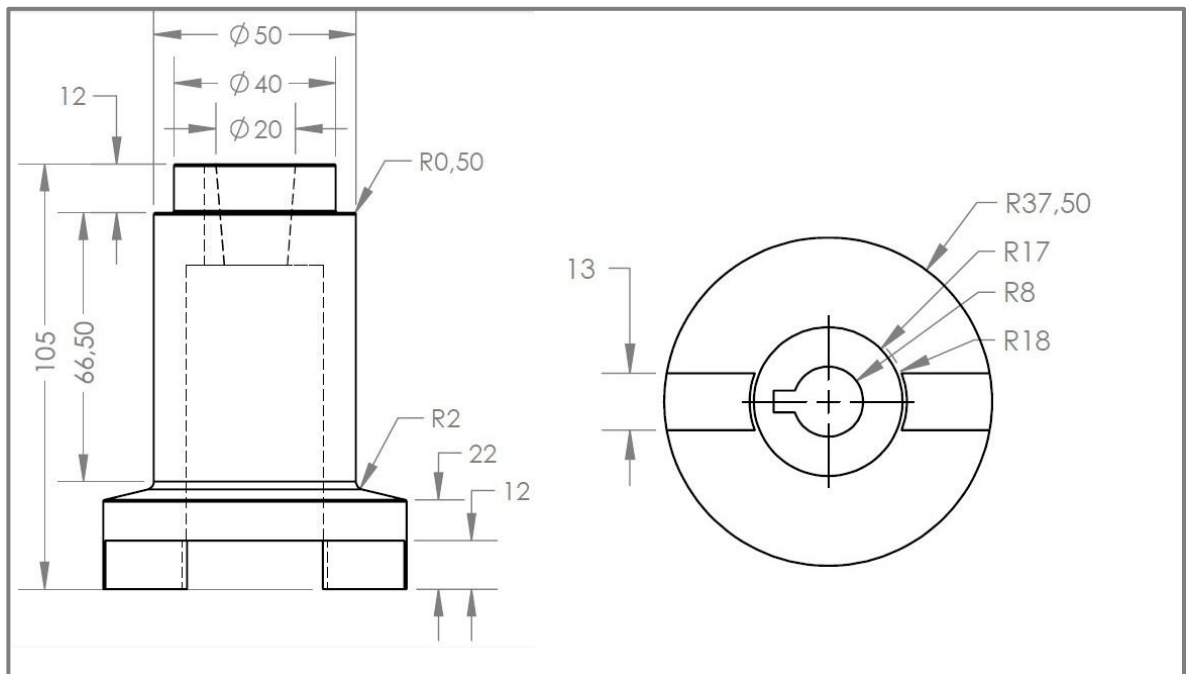
**3.1.2.2 Construcción de bridas y acoples:** Para el montaje de las bombas en línea y rotativas en el cabezal de arrastre del banco, se hace necesario elaborar dos bridas y dos acoples cónicos (acero SAE 1020 templado). Las bridas permitirán apoyar la bomba de inyección en la bancada y al mismo tiempo alinear el eje de levas con el eje impulsor del banco. Para tal efecto se mandan a construir con las dimensiones requeridas por cada bomba, teniendo en cuenta también el soporte que trae el banco de pruebas. Los acoples son de tipo cónico. El cono hará el ajuste respectivo para que el cabezal de arrastre transmita el impulso del motor eléctrico al árbol de levas de la bomba. Los acoples en su cono interior llevan un chavetero para agarrar al eje de levas de la bomba y mejorar así el ajuste.

Debido a los diferentes diseños de cada bomba de inyección, las bridas y los acoples construidos presentan características geométricas distintas. Por ende, se deben elaborar muchos otros de este tipo si se desea calibrar bombas de otra referencia más adelante. Para el caso de la bomba rotativa VE, por ejemplo, se ha construido una brida en la que se pueden atornillar hasta cinco pernos de 12 [mm]. De esta manera se aprovecha para montar bombas con diferente geometría. Por otra parte, el diámetro del hueco puede ser reducido haciendo uso de anillos suplementarios, los cuales los suministra el mismo proveedor (ver figura 22) esto para que pueda utilizarse la misma brida en varias aplicaciones.

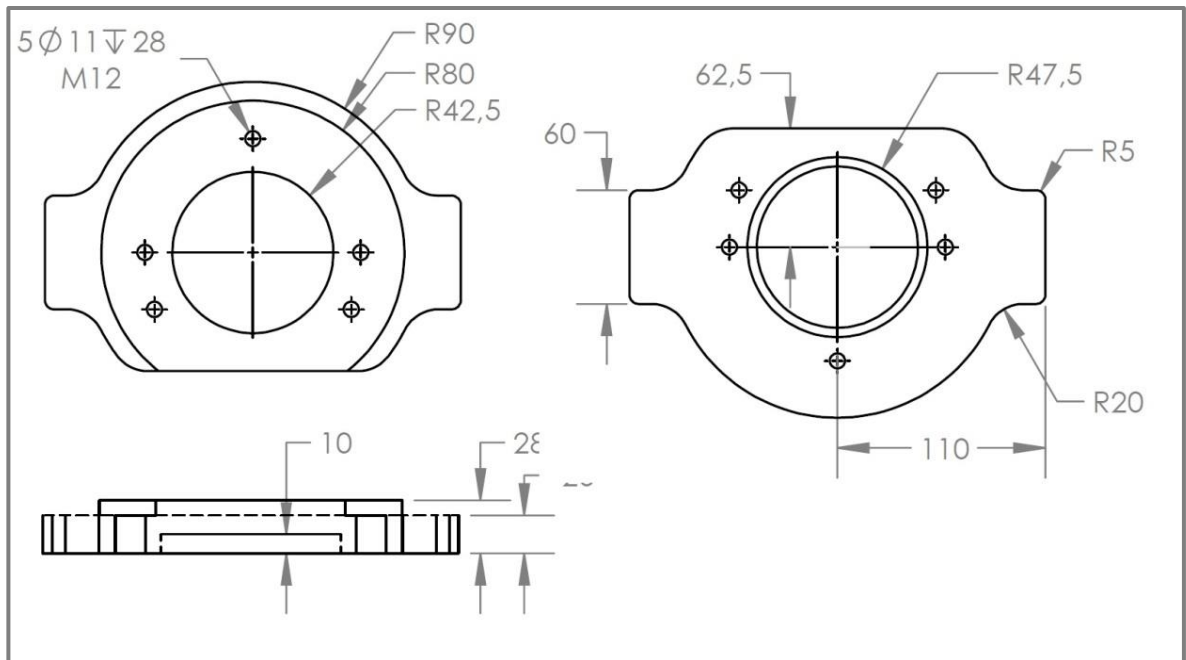
Figura 22. A) Brida. B) Acople.



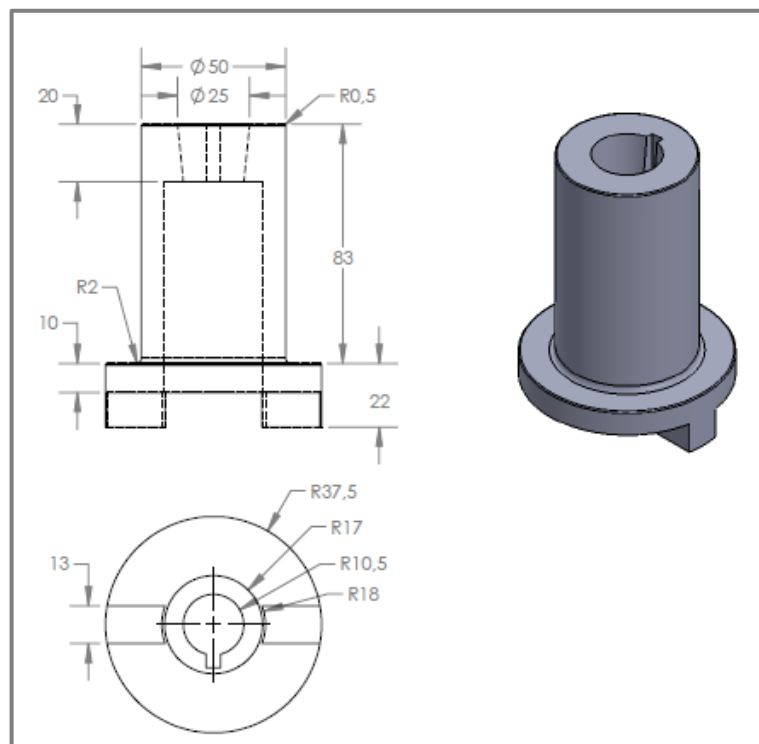
Figura 23. Dibujo del acople bomba rotativa VE.



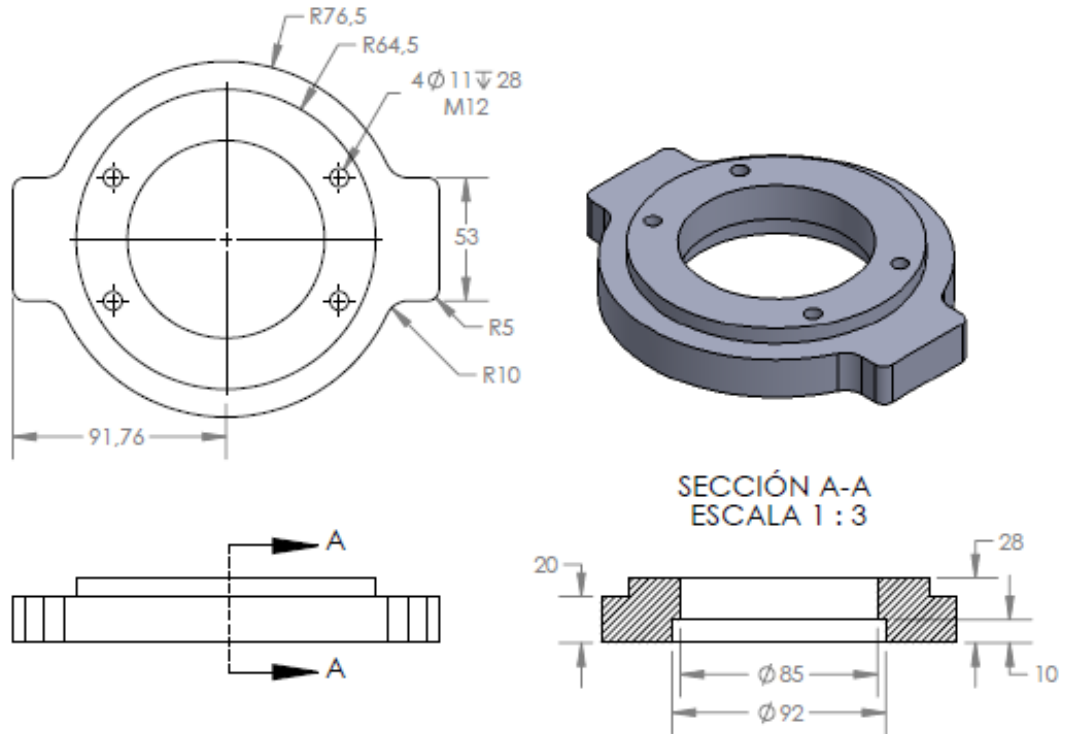
**Figura 24. Dibujo de la brida bomba rotativa VE.**



**Figura 25. Dibujo del acople bomba en línea PE-A.**



**Figura 26. Dibujo de la brida bomba en línea PE-A.**



**3.1.3. Pruebas bomba en línea PE-A.** Las pruebas realizadas en este apartado no tienen como objetivo calibrar la bomba que se monta en el banco. Primordialmente, la intención es constatar el buen funcionamiento de todos los instrumentos del equipo, y luego, detallar la manera cómo se deben ejecutar los ensayos en él. Por esta razón se utiliza una bomba en línea que se encuentra en perfecto estado de calibración: la PE-A de 4 cilindros, marca ZEXEL, equipada en el motor 4HG1-T de la casa ISUZU. Pertenece a un vehículo CHEVROLET NPR modelo 2007.

De la placa de la bomba (ver figura 27) se extrae el número de conjunto, es decir, el código correspondiente para consultar la tabla de calibración “101401-7752 Valores de prueba ZEXEL”.

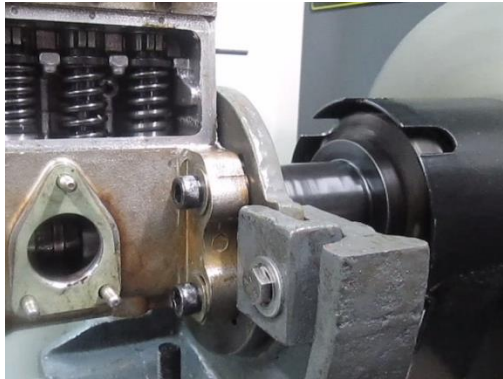
**Figura 27. Placa de la bomba en línea PE-A.**



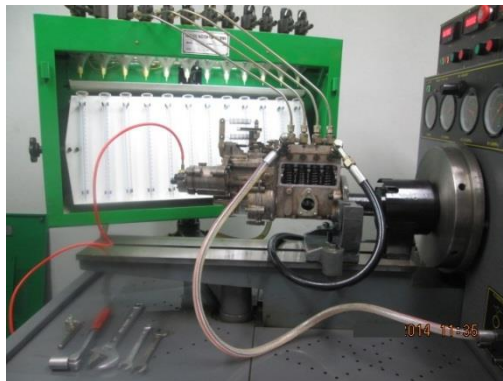
**3.1.3.1 Montaje en el cabezal y conexión de mangueras:** Para montar la bomba al cabezal primero se le retira el mecanismo variador de avance. Luego, se selecciona el soporte correcto cuya geometría y altura permitan fijar la bomba de tal manera que el árbol de levas quede alineado con el centro del eje propulsor del banco. También se toman la brida y el acople diseñados para esta bomba. En el momento de atornillar el conjunto de piezas se debe tener cuidado en la orientación de la bomba, la cual debe quedar totalmente vertical, perpendicular al plano de la bancada, para que las válvulas de descarga se encuentren en la posición correcta y faciliten la unión de los tubos de alta presión; con dimensiones 2 x 6 x 600 [mm]. Estos se doblan y se conectan a las toberas más cercanas. Ver figura 28.

Las mangueras permiten suministrar el aceite de prueba y el aire proveniente del compresor. El aceite se lleva hasta la bomba conectando por un lado la toma del banco “fuel supply PE-A”, y por el otro, el puerto de entrada de la bomba. Una manguera transparente se conecta al puerto de salida y se lleva a la toma “fuel return”; esto permite visualizar el retorno del aceite al depósito del banco. El aire se lleva hasta el compensador de carga a través de una pequeña manguera de 6 [mm] de diámetro. Ver figura 29.

**Figura 28. Montaje en el cabezal bomba en línea PE-A.**

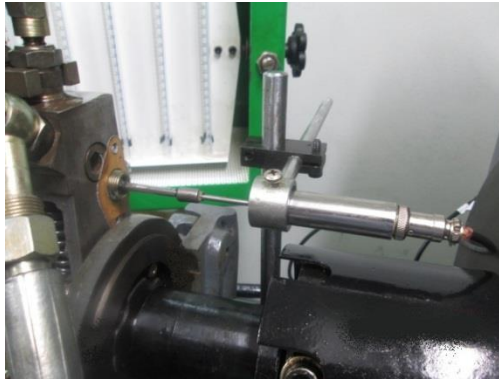


**Figura 29. Conexión de mangueras bomba en línea PE-A.**



Para calibrar la bomba se necesita conocer el desplazamiento de la cremallera. En algunas pruebas, el fabricante recomienda fijar diferentes posiciones y ajustar el suministro de combustible. Para medir este recorrido se utiliza un sensor de desplazamiento lineal soportado en la bancada y adosado a la cremallera. El soporte sobre el que se instala el sensor está provisto de un tornillo central que además de fijarlo al banco, cumple la función de permitirle desplazamiento a través de la guía de la bancada. El sensor puede rotar respecto a la varilla central y al mismo tiempo moverse en la dirección de la cremallera, brindando así todos los grados de libertad para acondicionar este dispositivo y tomar las mediciones. Ver figura 30.

**Figura 30. Montaje sensor de la cremallera bomba en línea PE-A.**



**3.1.3.2 Comprobaciones preliminares:** Antes de comenzar los ensayos, se verifica la presión de apertura de los inyectores de prueba en un probador manual. En este caso se ajusta en 18 [MPa] como lo indica el fabricante (ver figura 31). Es necesario elevar la temperatura del aceite; en la tabla de calibración se recomienda mantenerla en 40 [°C].

**Figura 31. Probador manual de inyectores mecánicos.**



Se lubrican los pistones y el eje de levas con aceite SAE 15W-40, para lo cual se retira antes la tapa protectora de ambos mecanismos (ver figura 32). Es obligatorio purgar la bomba. Para llevar a cabo este paso, se afloja el tornillo de purga de los inyectores de prueba, se activa el sistema de alimentación y se pone a girar el

motor eléctrico; en este momento los pistones de la bomba empiezan a impulsar aceite a través de los tubos y este escapa por los canales de drenaje abiertos. Se deja actuar así por unos minutos mientras se retiran todas las burbujas de aire.

**Figura 32. Lubricación del eje de levas bomba en línea PE-A.**

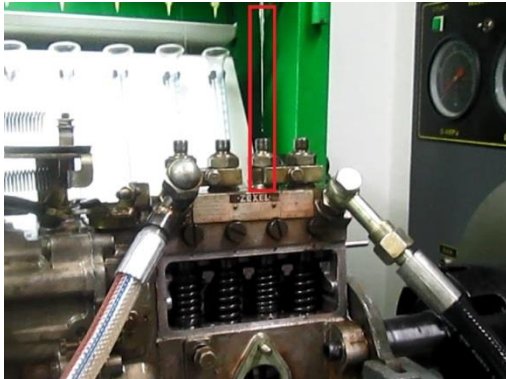


Se acondicionan las probetas de 45 [ml] para medir la entrega en cada ensayo. Este tipo de bombas no deben superar los 30 [ml] cuando la prueba se ejecuta para 200 golpes.

**3.1.3.3 Verificación de la entrega de combustible en cada cilindro.** Esta prueba permite inspeccionar si hay algún pistón defectuoso. Ocurre muchas veces que por desgaste de los émbolos, no se logra la presión suficiente para abrir la válvula de descarga e impulsar el aceite a través de las tuberías.

El ensayo se hace fijando una presión de alimentación baja, que garantice el suministro de aceite hasta la bomba -aproximadamente 0.1 [MPa]- y sin conectar las tuberías, es decir, con las cámaras descubiertas. Se enciende la bomba de alimentación y el motor eléctrico del banco, luego, con poca velocidad de rotación, se inspecciona que haya envío de aceite en cada pistón. En el recuadro rojo (ver figura 33) se puede apreciar la entrega de combustible por el pistón número 2.

**Figura 33. Entrega de combustible bomba en línea PE-A.**

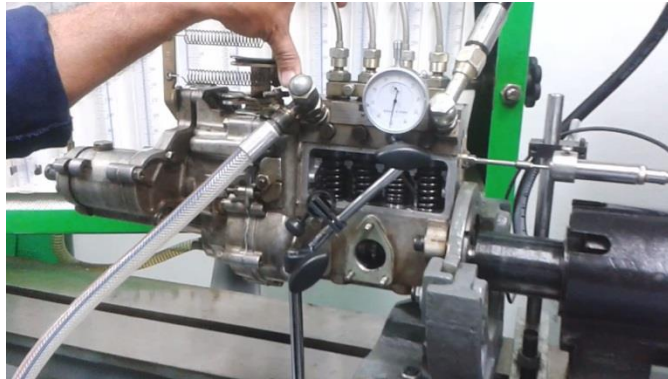


**3.1.3.4 Ajuste previo de combustible de referencia, o pre-carrera.** Esta prueba consiste en verificar el principio de inyección. Por cuestiones de diseño, el posicionamiento de los pistones de la bomba en línea se encuentra a máxima carga cuando el motor de combustión interna está apagado, por ello, no es necesario tener la palanca del acelerador a tope máximo y mucho menos encender el motor eléctrico que imprime las rpm del banco.

Se da encendido a la bomba de alimentación sólo para cargar de aceite las tuberías y la cámara interna de la bomba, conseguido esto, se apaga. Para medir la pre-carrera del pistón número uno se lleva el impulsador del embolo a la zona más baja y se fija, mediante una extensión, a un comparador de caratula como muestra la figura 34.

Luego de poner en cero la aguja del comparador de caratula, se gira el volante del cabezal, y cuando se registran 3,85 vueltas por la aguja; equivalentes a 3,85 [mm] desplazados por el impulsador, se observa una gota de combustible saliendo por la tubería de alta presión para el cilindro número uno; marcando así el principio de la inyección. Esta medida está dentro del rango que especifica el fabricante, en la tabla de calibración.

**Figura 34. Montaje del comparador de caratula bomba en línea PE-A**

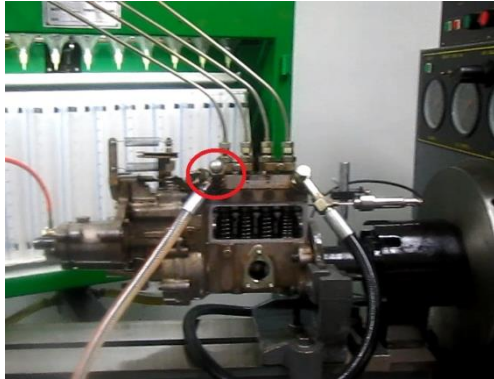


Fijando la aguja del comparador de caratula en 3,85 vueltas, se instala una herramienta para referenciar los 270 grados sexagesimales en el disco goniométrico del volante. Al girar 90 grados el volante; por orden de trabajo de los pistones, el impulsador número tres presenta un bloqueo. Seguido a 90 grados, presenta bloqueo el número cuatro y por último, el número dos, al girar el volante 90 grados más. Esta resistencia a mover el volante cada 90 grados se produce al chocar el combustible con el inyector. De esta manera se garantiza medio grado de error por arriba o por debajo en todos los pistones; con referencia al primero. Se repite con los pistones restantes el procedimiento realizado al pistón número uno, para verificar la pre-carrera en ellos.

**3.1.3.5 Ajuste de la presión interna de la bomba:** Esta prueba tiene como fin verificar si la válvula de retorno de la bomba (círculo rojo en la figura 35) abre cuando la presión del aceite, en la cámara interna, alcanza el valor especificado por el fabricante.

El caudal que suministra el sistema hidráulico del banco, simula el trabajo de la bomba de transferencia en el sistema de inyección y la presión generada se censa con el manómetro de baja (rango 0-0.4 MPa).

**Figura 35. Válvula de retorno bomba en línea PE-A.**



Para llevar a cabo el ensayo, se enciende la bomba de alimentación y, con la perilla del panel de control 3, se va tarando la presión de suministro hasta que alcanza 0.15 [MPa]. En ese momento se observa que empieza a fluir aceite por la manguera de retorno y se comprueba que la válvula está ajustada al valor especificado en la tabla de calibración.

Luego de comprobar la apertura de la válvula de retorno, el fabricante recomienda incrementar la presión de alimentación y ajustarla en 0.25 [MPa] para antes de iniciar los ensayos de caudal.

**3.1.3.6 Ajuste de combustible a plena carga.** Este ensayo permite comprobar si el suministro de combustible, en condiciones de plena carga o máxima aceleración, se encuentra ajustado entre los valores que recomienda el fabricante. Se realiza en dos formas: con compensador de carga del turbo-cargador y sin él.

En el primer ensayo, luego de haber fijado la velocidad del motor eléctrico en 500 [rpm] y la presión de suministro en 0.3 [MPa] -sin considerar presión de aire en el compensador- se programa la prueba para 200 emboladas, posicionando la palanca del acelerador en el tope máximo. Al finalizar el conteo, se registra en las probetas una cantidad de combustible entregado entre 16 y 17 [ml].

Se repite el procedimiento anterior ajustando los mismos parámetros en el banco, pero esta vez, se genera una presión de aire 0.05 [MPa] sobre el compensador de carga. Al terminar, se puede apreciar que hay un incremento de fluido en las probetas entre 5 y 6 [ml], medida que se encuentra dentro del rango de calibración que especifica el fabricante. Este incremento de combustible corresponde a un desplazamiento adicional de la cremallera para compensar el exceso de aire que entra en la cámara de combustión. El fabricante recomienda efectuar esta prueba para distintos valores de velocidad.

**3.1.3.7 Ajuste de la palanca a máxima velocidad.** Este ensayo permite verificar si el regulador de la bomba corta el suministro de combustible cuando se alcanzan las máximas rpm que establece el fabricante. Para fijar este límite de velocidad, el técnico, a la hora de hacer la calibración, debe ajustar el tornillo correspondiente para establecer el tope a la cremallera de regulación.

La inspección en el banco se realiza llevando la palanca de aceleración de la bomba al máximo e incrementando, progresivamente, su velocidad. Partiendo en 1000 [rpm], se observa que el caudal de aceite emanado por los inyectores es abundante pero comienza a disminuir a medida que se va aumentando. En el momento que se alcanza una velocidad de 1550 [rpm], la inyección en las probetas cesa considerablemente y ocurre el corte. De no cortarse el combustible hacia la cámara de combustión a la velocidad máxima especificada, el motor continuaría acelerándose indefinidamente hasta, posiblemente, desbocarse. Por ello, la importancia de este ensayo.

**3.1.3.8 Ajuste de la palanca a baja velocidad.** En el mismo sentido que debe ocurrir un corte del suministro en revoluciones máximas, debe ocurrir uno, en revoluciones mínimas. Esto es necesario para que el motor pueda mantener el

régimen de ralentí, y para ello, el técnico ha tenido que ajustar previamente el tope de baja velocidad.

Repitiendo el procedimiento para verificar el ajuste de máxima velocidad, se ejecuta la prueba para bajas rpm. Esta vez la palanca de aceleración se deja en la posición de ralentí y se empieza en 270 [rpm].

Para constatar la disminución del caudal a medida que aumentan las revoluciones, se pueden hacer mediciones para 200 emboladas. Por ejemplo, al realizar la medición para la velocidad de partida (270 rpm), el suministro de aceite de esta bomba registra 4 [ml] por cada probeta. Fijando en 315 [rpm] y midiendo para las mismas 200 emboladas, presenta un volumen de aproximadamente 1 [ml]. Así, se va evidenciando la disminución gradual del caudal. Finalmente, al seguir aumentando, se observa que la velocidad a la cual ocurre el corte de combustible es 370 [rpm]. El fabricante de la bomba acuerda este valor para evitar que el motor acelere cuando debe permanecer en ralentí.

**3.1.3.9 Análisis de resultados.** En este apartado se presentan los resultados obtenidos de los ensayos, al seguir el procedimiento determinado por la tabla de calibración. En forma resumida las pruebas se efectuaron de la siguiente manera: primero se ajustaron las condiciones iniciales en el banco de pruebas, desde el montaje correcto de la bomba hasta la fijación de temperaturas, presión, etc. Luego, se verificó la sincronización de la bomba y la carrera de desplazamiento de los émbolos, para después desarrollar las pruebas de caudal y de corte de combustible. Tomando como referencia los datos técnicos del fabricante y el marco teórico conceptual, en los cuales se han estudiado las variables dependientes e independientes del procedimiento, se presenta el siguiente compendio:

En el cuadro 6 se consigna la entrega en cada probeta para las pruebas de caudal, la carga de aire que llega al compensador de presión (Pc), la posición de la cremallera (RACK) y la inyección que, finalmente, es el parámetro significativo. En todos los casos se efectúa un conteo para 200 carreras-embolo y se mantiene la palanca de aceleración en plena carga.

**Cuadro 6. Suministro a plena carga -bomba en línea-**

RPM	RACK [mm]	Pc [Mpa]	V1 [ml]	V2 [ml]	V3 [ml]	V4 [ml]	Vm [ml]	Inyección [mm <sup>3</sup> /st]
100	21,0	0,00	22,5	22,0	22,0	22,0	22,1	110,6
500	10,6	0,00	16,0	15,5	17,0	15,5	16,0	80,0
500	11,9	0,05	20,0	20,0	22,5	21,0	20,9	104,4
800	11,9	0,05	20,0	21,0	22,0	20,5	20,9	104,4
900	12,1	0,05	21,0	21,0	21,5	21,0	21,1	105,6
1000	11,8	0,00	16,5	16,5	19,0	17,0	17,3	86,3
1000	12,5	0,06	21,0	21,5	21,0	21,5	21,3	106,3
1100	12,9	0,06	21,5	21,5	22,0	21,5	21,6	108,1
1200	13,1	0,06	22,5	21,5	21,0	22,0	21,8	108,8
1300	13,4	0,07	20,0	21,0	22,0	21,0	21,0	105,0
1400	13,0	0,07	18,5	19,0	19,0	19,0	18,9	94,4
1500	12,7	0,07	11,5	11,0	10,0	11,0	10,9	54,4
1550	11,0	0,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0

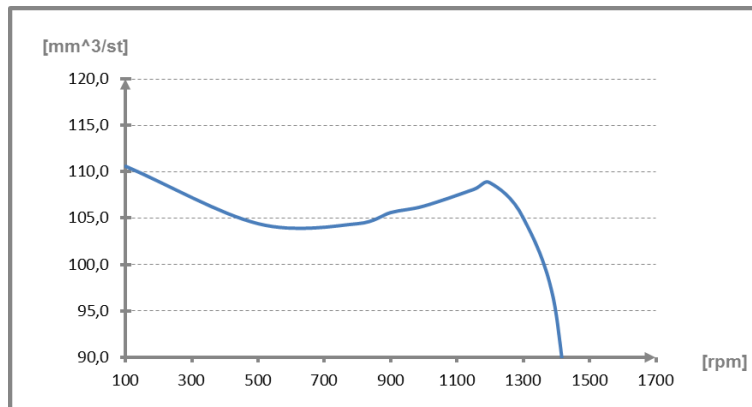
Para el cálculo de la inyección se divide el volumen medio de aceite entregado por la bomba en  $mm^3$  entre el número de carreras embolo que se ejecutan en el ensayo. Por ejemplo, en la prueba de 1000 [rpm] con presión de aire [0,06 MPa], la entrega media total resulta en 21.3 [ml] para un conteo de 200; entonces...

$$21.3 [ml] \times \frac{1000 [mm^3]}{1 [ml]} = 21300 [mm^3]$$

$$\text{Inyección} = \frac{21300 \text{ [mm}^3\text{]}}{200 \text{ [ciclo]}} = 106,3 \left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{st}} \right]$$

La curva de la figura 36 refleja el comportamiento de la bomba y el trabajo del regulador cuando se varían las condiciones de velocidad en el banco. Se grafican los resultados obtenidos de suministro (inyección) vs RPM.

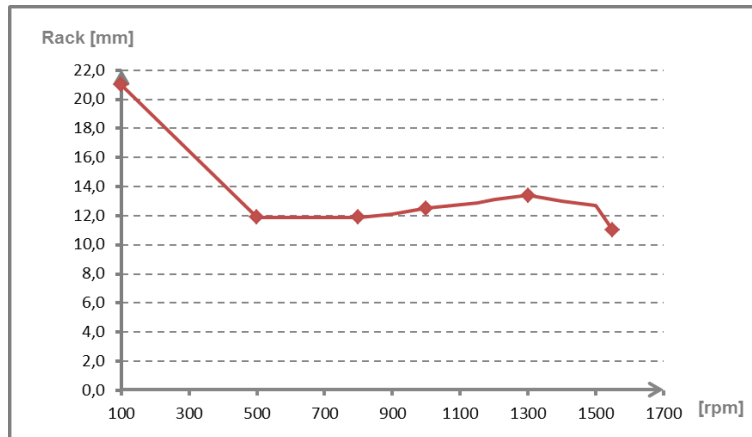
**Figura 36. Curva INYECCIÓN Vs RPM bomba PE-A**



Cuando se fija una velocidad de 100 [rpm] en el banco la bomba entrega el máximo de aceite, esto es correspondiente a la condición de arranque en el motor. Luego, el suministro baja considerablemente y se estabiliza la entrega entre 500 y 800 [rpm], aproximadamente, debido al trabajo del regulador. Cuando se incrementa la velocidad y pasa las 900 [rpm], la presión del aire también lo hace elevando la inyección proporcionalmente con las revoluciones; en ese momento el trabajo del aire vence al del regulador. Finalizando la curva, entre 1300-1550 [rpm], se aprecia un decremento súbito del combustible inyectado desde el punto de compensación; debido a que el trabajo del regulador vence a la presión de aire fijada.

La curva de la figura 37 refleja el comportamiento de la bomba y el trabajo del regulador cuando se varían las condiciones de velocidad en el banco. Se grafican los resultados obtenidos de desplazamiento de cremallera (RACK) vs RPM.

**Figura 37. Curva RACK Vs RPM.**

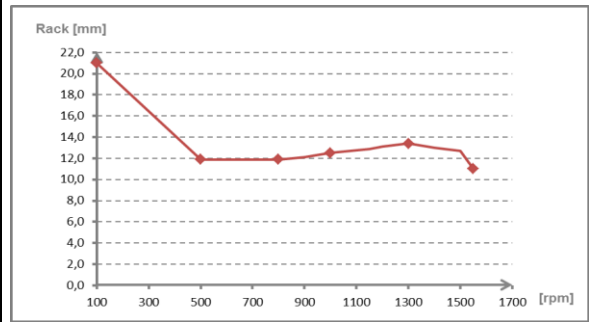


Cuando la velocidad es de 100 [rpm] la cremallera se encuentra en el tope de máximo desplazamiento; esto es correspondiente a la condición de arranque en el motor. Luego, se mantiene fija en la posición 11,9 [mm] entre 500 y 800 [rpm] debido al trabajo del regulador. Cuando se incrementa la velocidad y se pasan las 900 [rpm], el desplazamiento de la cremallera también aumenta porque la presión de aire vence al trabajo de las contrapesas. A partir de las 1300 [rpm] la cremallera retrocede para realizar el corte de combustible; esto ocurre cuando alcanza 1550 [rpm] y un desplazamiento de 11 [mm] aproximadamente.

Finalmente se confecciona una tabla con los resultados de los ensayos realizados a la bomba línea PE-A. Ver cuadro 7 Los datos presentados en ella, sirven al taller de mantenimiento para realizar futuras calibraciones a esta y otras bombas similares.

**Cuadro 7. Tabla de pruebas bomba en línea PE-A.**

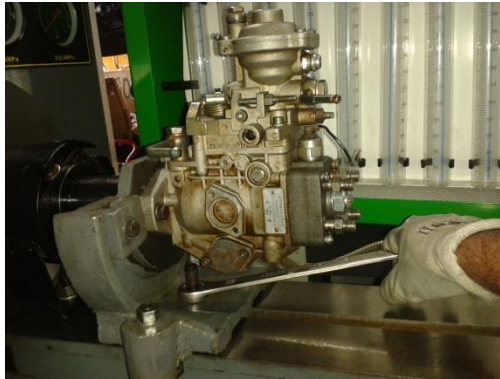
TABLA DE PRUEBAS				
<b>Datos de la bomba</b>				
Numero de parte	101401-7752			
Marca	ZEXEL-BOSCH			
Motor	4HG1-T			
Fabricante	ISUZU			
Vehiculo	CHEVROLET NPR			
<b>Condiciones en el banco</b>		<b>Ajuste de la Precarrera</b>		
Código inyector de prueba	1 688 901 017	Posición cremallera	12 [mm]	
Presión de apertura	18 [MPa]	Precarrera	3,8 [mm]	
Aceite de prueba	ACPM	Orden de inyección	1-3-4-2	
Temperatura del aceite	40 [°C]	<b>Corte de combustible</b>		
Presión de apertura válvula retorno	0,15 [MPa]	Velocidad mínima o ralentí	370 [rpm]	
Presión de suministro	0,25 [MPa]	Velocidad máxima	1550 [rpm]	
Tuberías de alta presión	2x6x600 [mm]			
Sentido de rotación	Izquierda			
<b>Suministro de combustible a plena carga</b>				
Cuento para 200 carreras-embolo				
RPM	RACK [mm]	Pc [Mpa]	Vm [ml]	Inyección [mm <sup>3</sup> /st]
100	21,0	0,00	22,1	110,6
500	10,6	0,00	16,0	80,0
500	11,9	0,05	20,9	104,4
800	11,9	0,05	20,9	104,4
900	12,1	0,05	21,1	105,6
1000	11,8	0,00	17,3	86,3
1000	12,5	0,06	21,3	106,3
1100	12,9	0,06	21,6	108,1
1200	13,1	0,06	21,8	108,8
1300	13,4	0,07	21,0	105,0
1400	13,0	0,07	18,9	94,4
1500	12,7	0,07	10,9	54,4
1550	11,0	0,07	1,0	5,0



**3.1.4. Pruebas bomba rotativa VE.** Para llevar a cabo estas pruebas se utiliza la bomba VE-4, marca ZEXEL, equipada en el motor 4JB1-TC de la casa ISUZU. Pertenece a un camión CHEVROLET NHR modelo 2006. Tabla de calibración “104741-5240 Valores de prueba ZEXEL”.::

**3.1.4.1 Montaje al cabezal y conexión de mangueras.** Para llevar a cabo el montaje en el cabezal, antes, debe retirarse de la bomba la brida de montaje al motor y el engranaje de la sincronización. Luego, se debe seleccionar el soporte correcto cuya geometría permita presentar la bomba de forma tal que el árbol de levas quede alineado perfectamente con el centro del eje impulsor del cabezal de arrastre. También se selecciona la brida y el acople correspondiente. Este procedimiento es similar al de la bomba en línea.

**Figura 38. Pruebas bomba rotativa VE.**



El aceite de prueba se lleva hasta la bomba por la línea de suministro, conectando por un lado el puerto de entrada y por el otro la toma del banco “fuel supply PE-A”. Otra línea se conecta desde el puerto de salida y hasta la toma “fuel return” para drenar el aceite sobrante y devolverlo al depósito del banco. Finalmente, se conecta y se dobla la tubería de alta presión; con medidas 2 x 6 x 600 [mm] que, los juegos que vienen con el banco, son las que más se acercan a las recomendadas por el fabricante en la tabla de calibración. Ver figura 39.

**Figura 39. Conexión de mangueras bomba rotativa VE.**



**3.1.4.2 Comprobaciones preliminares.** Igual que para la bomba en línea, es necesario elevar la temperatura del aceite de prueba y ajustar la presión de

apertura de las toberas de prueba, que deben ser 40 [°C] y 13 [MPa], respectivamente, como lo especifica el fabricante en la tabla de calibración.

Se posiciona la palanca de aceleración de la bomba rotativa en el tope máximo de carga plena y se va incrementando la velocidad del banco hasta alcanzar 2000 [rpm]. Esto para verificar que en todo momento se lleve a cabo la inyección por las toberas del banco. La marcha se mantiene durante algunos 3 minutos mientras se inspecciona también si hay algún tipo de fuga o algún tipo de ruido extraño.

**3.1.4.3 Ajuste de la presión de transferencia.** Hace parte de los ajustes previos que se hacen en el banco para fijar las condiciones preliminares de los posteriores ensayos; como lo especifica el fabricante en la tabla de calibración. Para censar esta presión, se utiliza el manómetro de baja (0-0.4 MPa).

Una vez realizada la conexión de las mangueras, se tara una presión en el sistema de alimentación de 0.02 [MPa] por medio de la perilla correspondiente en el panel de control 3. En ese momento se observa que el aceite empieza a drenarse por la manguera de retorno.

**3.1.4.4 Verificación de la cámara de presión.** El fabricante indica que se deben inspeccionar los niveles de presión del aceite al interior de la cámara en mención, previo ingreso al cabezal de la bomba; esto para varias condiciones de velocidad. Para censar estos valores, se conecta una manguera que va desde un punto antes de la válvula de retorno (ver figura 40) hasta la toma de presión correspondiente al manómetro auxiliar; que permite hacer lecturas entre 0 a 1.6 [MPa]. La conexión se hace por medio de un tornillo hueco o *tornillo de rebose*. Ver figura 41.

Teniendo hecha la instalación, se da arranque a la bomba de alimentación y al motor eléctrico del banco. Luego, se activa el compensador de carga del turbo fijando una presión de aire de 0.08 [MPa] y, con el solenoide energizado, se aumenta progresivamente la velocidad de rotación. En el momento que el tablero marca 1500 [rpm], el manómetro registra una presión de 0.46 [MPa] aproximadamente.

**Figura 40. Válvula de retorno bomba rotativa VE.**



**Figura 41. Tornillos de rebose.**



Si se siguen aumentando las rpm del banco, se puede apreciar un incremento proporcional entre la presión interna y la velocidad de la bomba. En ese sentido la tabla de calibración proporciona otros valores de presión que debe registrar la

bomba, esta vez, a velocidades más altas; en este caso particular el fabricante recomienda verificar también a 1900 [rpm].

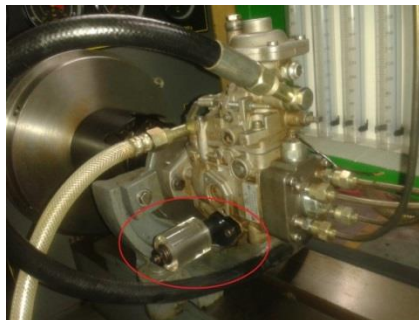
**3.1.4.5 Ajuste del variador de avance de la inyección.** Esta prueba permite verificar si el sistema de avance cuenta con el desplazamiento angular correcto para adelantar o atrasar el punto exacto de la inyección. Para llevarla a cabo es necesario utilizar una herramienta adicional: el *medidor de carrera*. Ver figura 42.

Un medidor de carrera es una capsula hermética en donde el aceite de prueba entra y desplaza, proporcionalmente, un pequeño embolo a medida que se incrementa la presión. Para hacer lectura de este desplazamiento, el medidor viene graduado milimétricamente. Una vez instalado (ver figura 43) lo primero que se hace es purgar la herramienta. Para esto se deja girar libremente a la bomba a 300 [rpm] y se abre el tornillo de purga del medidor.

**Figura 42. Medidor de carrera.**



**Figura 43. Purga del medidor de carrera.**



La prueba se realiza con presión de sobre-alimentación (turbo-cargador) y sin ella. Entonces, se ajusta la presión de aire en 0.08 [MPa]; como lo indica la tabla de calibración, y se fija una velocidad de rotación en el banco de 750 [rpm]. En estas condiciones el embolo del medidor se corre apenas 1 [mm]. Luego, se repite para los diferentes valores de rpm que recomienda el fabricante.

**3.1.4.6 Ajuste del suministro máximo.** El suministro máximo de combustible se verifica en el banco de prueba para dos condiciones distintas: con actuación del compensador de carga del turbo-alimentador y sin la actuación de este. Esto permite inspeccionar si la bomba responde a los requerimientos de mayor carga, por exceso de aire, en el motor.

Para empezar, se lleva a cabo la prueba sin tener en cuenta el compensador de carga del turbo-alimentador, es decir, sin encender el compresor de aire en el banco. Con el aceite de prueba circulando por el banco y el motor eléctrico encendido, se fija una velocidad de rotación de 1250 [rpm]. Seguidamente, se lleva al tope máximo la palanca de aceleración de la bomba rotativa y se efectúa el conteo para 200 carreras o golpes de inyección (opcional). Al finalizar este conteo, la bandeja que corta el paso del combustible a las probetas se acciona e interrumpe el suministro, concluyendo la prueba. La posterior lectura de los resultados determina que la cantidad de aceite entregado a cada probeta es de, aproximadamente, 10 [ml].

Luego, se ejecuta la misma práctica teniendo en cuenta el trabajo del compensador de carga del turbo; el cual censa la carga de sobre-alimentación. En este caso se conecta una manguera desde la toma de presión del compresor en el banco, hasta la válvula de admisión del compensador en la bomba (ver figura 44). La presión del aire se ajusta en 0.08 [MPa], mediante la perilla de ajuste correspondiente. Igual que en el caso anterior, la velocidad de rotación se fija en

1250 [rpm] y la palanca de aceleración se lleva al tope de carga plena. Cuando el conteo finaliza, para las mismas 200 carreras, las probetas registran un incremento en la cantidad de aceite almacenado, acumulando entre 13.5 y 14 mililitros en cada una.

**Figura 44. Compensador del turbo bomba rotativa VE.**



El fabricante recomienda en la tabla de calibración verificar el suministro de combustible para varios valores de velocidad, repitiendo el mismo proceso anterior.

**3.1.4.7 Ajuste de la velocidad de corte.** La velocidad de corte, es la velocidad a la cual el regulador de la bomba corta el suministro de combustible. El ajuste se hace por medio de los pernos correspondientes para revoluciones máximas y mínimas; la prueba para verificarlo es similar a la practicada a la bomba en línea Ver el numeral 3.1.3.8...

- **Prueba de corte en mínima:** Para verificar el corte de combustible, en revoluciones mínimas, se establece en el banco una velocidad inicial de 400 [rpm]; Luego, se aumenta en forma progresiva, hasta que los inyectores dejen de suministrar aceite a las probetas. Antes de que ocurra el corte, se aprecia que el flujo de aceite inyectado por las toberas disminuye gradualmente a medida que

crecen las revoluciones, y solo hasta que el banco de prueba registra la velocidad de 500 [rpm], los inyectores cesan por completo la entrega; ocurriendo el corte en mínima para el valor que indica la tabla.

- **Prueba de corte en máxima:** Al igual que la prueba de corte en mínima, para verificar el corte de combustible en revoluciones máximas, se aumentan progresivamente las rpm de la bomba hasta que las toberas no suministren más aceite. En este caso la palanca de aceleración de la bomba se lleva a carga plena y se fija, para empezar, una velocidad de 2000 [rpm]. En estas condiciones los inyectores entregan un caudal mucho mayor comparado con el entregado en el ensayo de mínimas revoluciones. Sólo hasta cuando se alcanzan 2400 [rpm], los inyectores detienen el suministro a las probetas. De esta manera se comprueba el corte de combustible para máximas revoluciones de la bomba distribuidora rotativa VE.

**3.1.4.8 Ajuste del suministro en ralentí.** Para verificar el suministro de combustible, en ralentí, la velocidad de rotación del banco se fija en 385 [rpm]. Para esta prueba, no se mueve la palanca de aceleración de la bomba, como se hace en la prueba de suministro máximo; se deja en su posición natural, en el tope de mínima carga o *tope de ralentí*.

Para este ensayo también se ejecutan 200 carreras-embolo (opcional) y al finalizar se registra una entrega que oscila de entre 1.3 y 1.5 centímetros cúbicos. Se puede notar que la cantidad de aceite, acumulado en cada probeta, no es tan pareja como en los ensayos previos. La desviación que presenta una con respecto a otra no sobrepasa los 0.5 [cc], por lo tanto este resultado puede considerarse normal, pues está en el rango aceptable según la tabla de calibración.

**3.1.4.9 Ajuste del caudal de arranque.** En este ensayo el fabricante recomienda re-ajustar la temperatura del aceite de prueba entre 46 y 50 [°C].

Para fijar el caudal de arranque se gira el perno correspondiente en la bomba y se verifica fijando una velocidad en el banco de 100 rpm. Al igual que en las anteriores pruebas de suministro, se hace un conteo de 200 emboladas y se hace lectura del aceite acumulado en las probetas, que para este ensayo resulta ser, en promedio, 21 [ml]. Así como en la prueba de suministro de ralentí, se manifiesta una desviación respecto al promedio. Ver figura 45.

**Figura 45. Diferencia de caudal bomba rotativa VE.**



**3.1.4.10 Análisis de resultados.** En forma resumida las pruebas se efectuaron, primero, ajustando las condiciones iniciales en el banco de pruebas, desde el montaje de la bomba hasta la fijación de temperaturas, presión, etc., igual que para los ensayos de la bomba en línea. En ese orden, se verificó la presión de transferencia, el funcionamiento del dispositivo de avance, la entrega de caudal a plena carga y en mínima o ralentí, la prueba de arranque y las velocidades de corte en mínima y en máximas revoluciones.

En el cuadro 8 se consigna la entrega en cada probeta para las pruebas de caudal, la carga de aire que llega al compensador de presión ( $P_c$ ) y la inyección.

En todos los casos se efectúa un conteo para 200 carreras-embolo y se mantiene la palanca de aceleración en plena carga.

**Cuadro 8. Suministro a plena carga -bomba rotativa- VE.**

RPM	Pc [MPa]	V1 [ml]	V2 [ml]	V3 [ml]	V4 [ml]	Vm [ml]	Inyección [mm <sup>3</sup> /st]
100	0,00	22,0	19,0	20,0	22,0	20,8	103,8
400	0,00	14,0	14,0	13,5	13,5	13,8	68,8
600	0,02	11,0	11,0	11,0	10,5	10,9	54,4
800	0,05	9,5	9,5	10,0	10,0	9,8	48,8
1000	0,00	9,0	9,0	9,0	10,0	9,3	46,3
1000	0,06	12,5	12,5	13,0	13,5	12,9	64,4
1250	0,00	11,0	11,0	11,0	10,5	10,9	54,4
1250	0,06	14,0	13,5	14,0	13,5	13,8	68,8
1900	0,08	15,0	14,5	14,5	14,0	14,5	72,5
2300	0,08	4,5	4,5	5,0	5,0	4,8	23,8
2400	0,08	2,5	2,5	3,0	3,0	2,8	13,8

La curva de la figura 46 refleja el comportamiento de la bomba y el trabajo del regulador cuando se varían las condiciones de velocidad en el banco. Se grafican los resultados obtenidos de suministro (inyección) vs RPM.

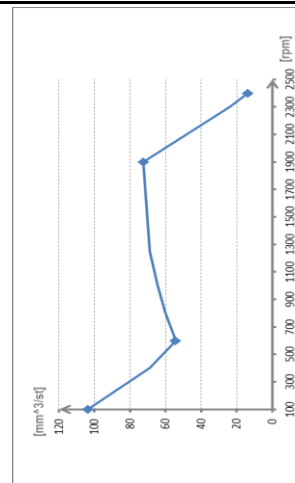
**Figura 46. Curva INYECCION Vs RPM bomba rotativa VE.**



Cuando se fija una velocidad de 100 [rpm] en el banco, la bomba entrega el máximo de aceite; esto es correspondiente a la condición de arranque en el motor. Luego, el suministro baja considerablemente y se estabiliza la entrega en 600 [rpm]; debido al trabajo del regulador. Cuando se incrementa la velocidad, la presión del aire también lo hace, elevando la inyección proporcionalmente con las revoluciones hasta alcanzar 1900 [rpm]; que es el punto de compensación. A partir de ese momento se aprecia un decremento de la entrega; debido a que el trabajo del regulador vence la carga de aire fijada en el banco.

**Cuadro 9. Tabla de pruebas bomba rotativa VE.**

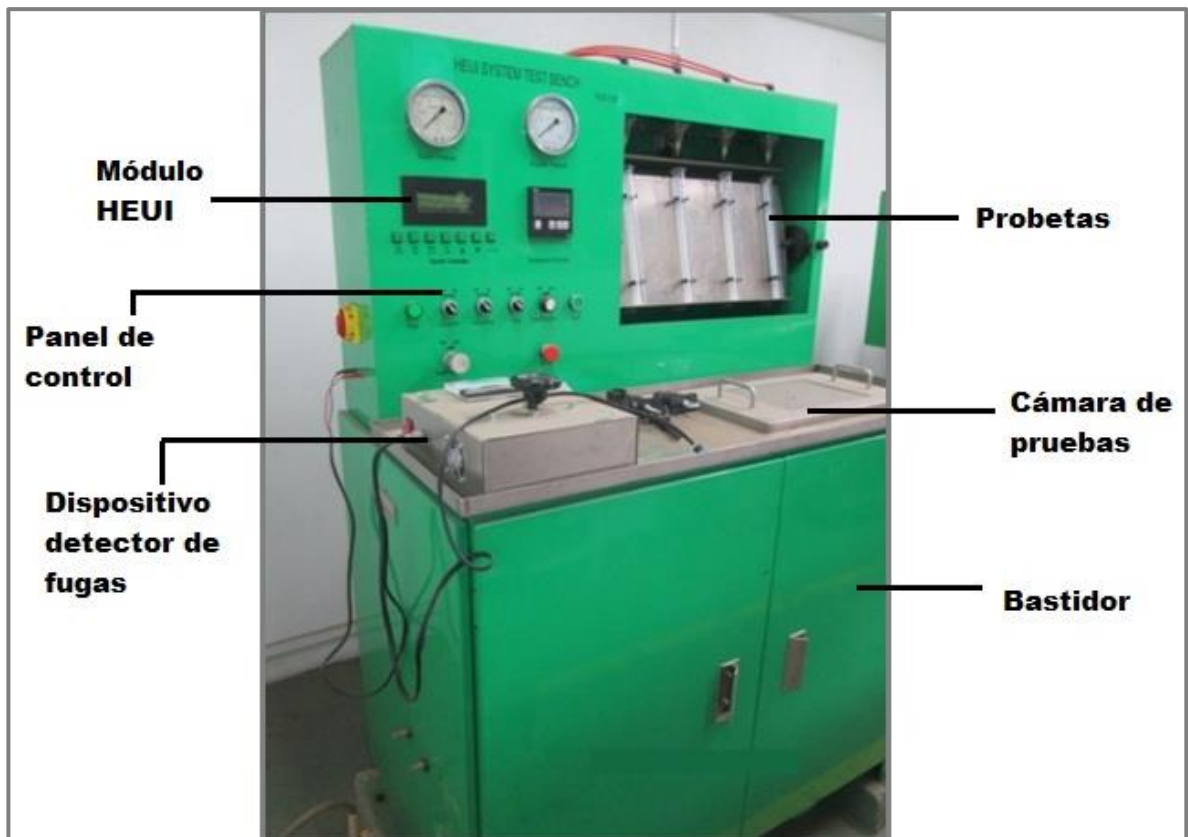
TABLA DE PRUEBAS				
<b>Datos de la bomba</b>				
Numero de parte	101741-5240			
Marca	ZEXEL-BOSCH			
Motor	4JB1-TC			
Fabricante	ISUZU			
Vehiculo	CHEVROLET NHR			
<b>Condiciones en el banco</b>		<b>Cámara de presión</b>		
Código inyector de prueba	1 688 901 017	<b>RPM</b>	<b>Pc [MPa]</b>	<b>Presión de aceite [MPa]</b>
Presión de apertura	13 [MPa]	1500	0,8	0,46
		1900	0,8	0,60
Aceite de prueba	ACPM			
Temperatura del aceite	40 [°C]			
Presión de apertura válvula retorno	0,02 [MPa]			
		<b>Avance de la inyección</b>		
Tuberías de alta presión	2x6x600 [mm]	<b>RPM</b>	<b>Desplazamiento [mm]</b>	
		1500	5	
Sentido de rotación	Derecha	1250	2	
		750	1	
<b>Suministro de combustible a plena Carga</b>				
Para un conteo de 200 carreras-embolo				
<b>RPM</b>	<b>Pc [Mpa]</b>	<b>Vm [ml]</b>	<b>Inyección [mm<sup>3</sup>/st]</b>	
100	0,00	20,8	103,8	
400	0,00	13,8	68,8	
600	0,02	10,9	54,4	
800	0,05	9,8	48,8	
1000	0,00	9,3	46,3	
1000	0,06	12,9	64,4	
1250	0,00	10,9	54,4	
1250	0,06	13,8	68,8	
1900	0,08	14,5	72,5	
2300	0,08	4,8	23,8	
2400	0,08	2,8	13,8	
<b>Corte de combustible</b>				
Minima velocidad o ralenti	500 [rpm]			
Máxima velocidad	2400 [rpm]			



### 3.2. BANCO HUS-1001

En la figura 47 se muestra el banco de prueba HUS 1001, de la marca china “*Injectronix*”. El propósito general de este equipo es obtener el suministro de combustible de un inyector “HEUI”, en un determinado tiempo y bajo un conjunto de condiciones (presión de actuación, presión de alimentación, conteo, etc.). Luego, los resultados obtenidos, se deben comparar con las pruebas hechas a otro inyector del mismo tipo que, nuevo o usado, se encuentre en perfectas condiciones. Este banco no soluciona el problema de los inyectores, sólo permite hacer una comparación entre ellos.

**Figura 47. Banco HUS-1001.**



Las dimensiones del equipo son 2 x 0.7 x 1.7 [m] y tiene un peso de 500 [kg] soportado por bases hechas de hormigón. Está diseñado para probar hasta cuatro tipos diferentes de inyectores, aunque no todos pueden montarse directamente en la cámara de pruebas. Los encontrados en los motores FORD POWERSTROKE 7.3 [L], CATERPILLAR 3126B/E, NAVISTAR DT466E y I530E, como tienen una geometría similar, logran instalarse sin problemas, pero los equipados en los motores FORD POWERSTROKE 6.0 [L], CATERPILLAR 3408, C7 y C9, necesitan un kit de adaptación adicional para ser probados.

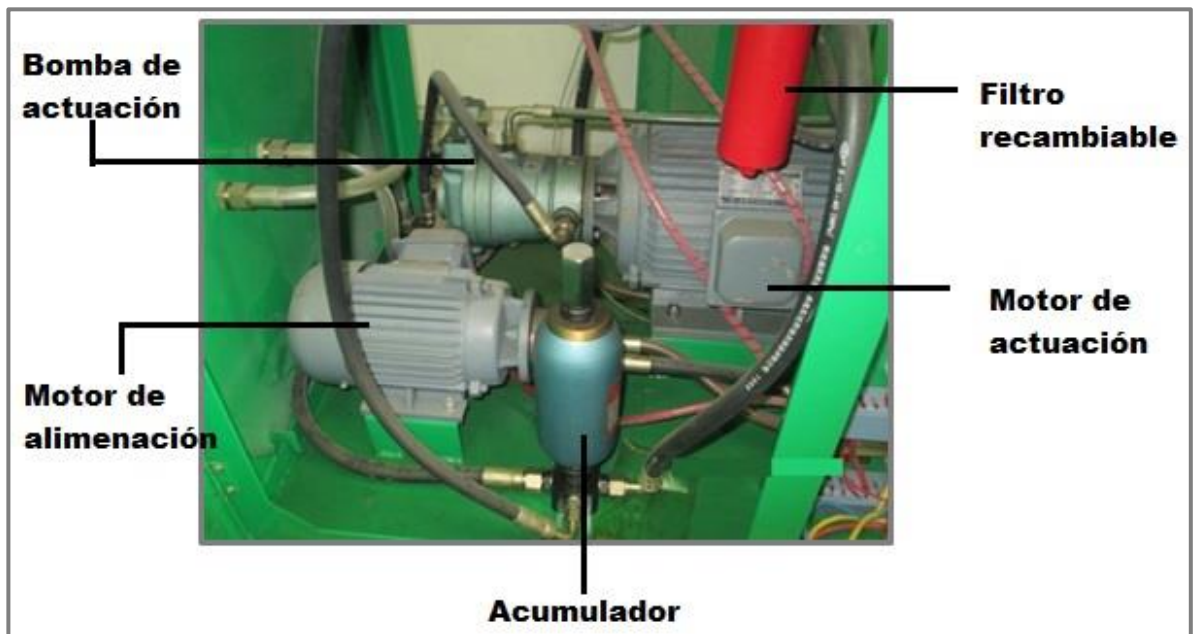
Su principio de funcionamiento es muy similar al banco TST-C. Ver numeral 3.1 El sistema de medición, por ejemplo, trabaja por medio de probetas graduadas, aunque solo contiene un total de ocho: cuatro con capacidad para almacenar 45 [ml] y cuatro para 150 [ml]. El número de inyectores de prueba también disminuye a cuatro.

La estabilidad de la marcha es garantizada, como se hace en el banco de bombas, por medio de un dispositivo variador de frecuencia: el DELTA VFD-B. Este modelo, diseñado para aplicaciones de torque constante, entrega una frecuencia ajustable entre 0-400 [Hz] para asegurar que las revoluciones del motor eléctrico primario se mantengan estables y sin fluctuaciones indebidas, además protege la instalación eléctrica ante picos de corriente, voltaje, etc.

Por otro lado, el sistema de accionamiento es completamente distinto. A diferencia del banco TST-C, en donde un motor eléctrico entrega energía mecánica a la bomba de inyección para que sea ensayada, en el HUS 1001, una unidad de potencia hidráulica realiza el trabajo de actuación sobre los inyectores. Acá dos motores trifásicos se encargan de impulsar las bombas del sistema.

El motor eléctrico principal, cuya potencia máxima es de 7.5 [Kw], entrega energía mecánica a la bomba de actuación (ver figura 48). Esta bomba, recibe del motor una velocidad máxima de 1500 [rpm] y suministra aceite por el circuito de alta presión, que alcanza niveles de hasta 20 [MPa]. Antes de llegar a la cámara de prueba, el fluido pasa por un bloque multivías sobre el que se encuentra instalado un acumulador. La función de este dispositivo es mantener un reservorio de presión constante, pero principalmente, ahorrarle potencia a la bomba; que al final se traduce en menor consumo eléctrico. Al bloque multivías también llega la manguera que conecta el circuito con un manómetro ubicado en el panel de control frontal y la manguera que va a la válvula reguladora de presión.

**Figura 48. Sistema hidráulico banco HUS 1001.**



Un motor más pequeño, con potencia máxima 0.55 [Kw], se encarga de entregar energía a la bomba de alimentación; la cual lleva el aceite hasta el inyector para

que luego sea introducido en las probetas de medición. La máxima presión que puede alcanzar el circuito es de 0.6 [MPa] y está censada por un manómetro en el panel frontal.

La cámara de pruebas es el lugar en donde se deben instalar los inyectores que se van a ensayar. Contiene en su interior un bloque diseñado con cuatro cavidades, para montar y probar hasta cuatro inyectores. Por cada una de las cavidades pasan dos galerías que se llenan de fluido al momento de iniciar las pruebas. A la galería superior llega aceite emanado por la bomba de actuación; por lo tanto, una vez instalado el inyector en la cavidad, esta galería queda conectada con la etapa de accionamiento del inyector. La bomba de alimentación llena la galería inferior con aceite a baja presión. Finalmente, una manguera conectada en la parte inferior de la cámara, drena el fluido residual del compartimiento para devolverlo al depósito. Ver figura 49.

El sistema hidráulico se completa con el tanque-depósito en donde se acumula el aceite de prueba, con una capacidad volumétrica de 42 [L] aproximadamente. En su interior se encuentran dos filtros; uno por cada circuito, la resistencia eléctrica para elevar la temperatura del líquido hasta las condiciones requeridas por el ensayo y el sensor para medirla.

Para regular la temperatura del aceite, el sensor del depósito envía la señal a un módulo de control ubicado en el panel frontal, en donde por medio de una LCD, el operario fija un valor deseado entre 30 y 50 [°C]. Este dispositivo tiene una precisión de 1 [°C].

**Figura 49. Cámaras de pruebas manco HUS 1001.**



La LCD del controlador de temperatura está dividida en dos mitades. La mitad superior muestra la temperatura real del aceite de prueba y la mitad inferior muestra la temperatura objetivo. Cuando la temperatura del aceite es menor que la temperatura objetivo, tanto la resistencia eléctrica como la bomba de alimentación de baja presión se ponen en funcionamiento para asegurar que haya circulación del aceite y no ocurra sobrecalentamiento. Cuando la temperatura es mayor que la fijada en el controlador, se apaga la resistencia y se activa una válvula solenoide que permite el paso de agua fría hacia un pequeño intercambiador de calor, por donde también pasa el aceite succionado por la bomba de actuación. Este equipo tiene un sistema de refrigeración por agua, la cual puede tomarse desde cualquier llave disponible en los alrededores.

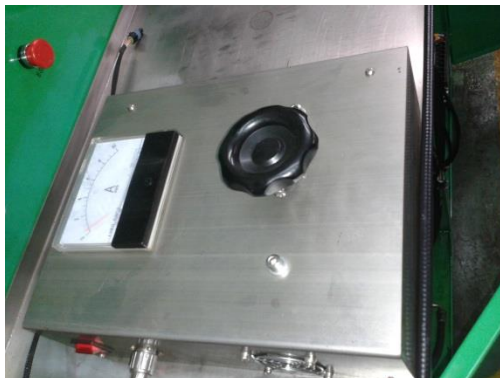
Hay que aclarar que aunque la inyección HEUI funciona en el motor diésel con aceite lubricante y aceite combustible al mismo tiempo, en este banco de ensayos, los trabajos de alimentación y accionamiento se llevan a cabo usando el mismo tipo de aceite. El fabricante ha configurado la instalación de tal forma que la bomba de actuación succiona el fluido del mismo depósito que lo succiona la

bomba de alimentación; y por esta razón, se recomienda usar un aceite de prueba con propiedades lubricantes adecuadas.

Un módulo de control adicional –módulo HEUI- simula el trabajo de la tarjeta electrónica en el motor diésel y acompaña al sistema hidráulico en el accionamiento de los inyectores. Su principal función es enviar el pulso eléctrico para activar el solenoide de la válvula superior del inyector y determinar los milisegundos que debe durar el mismo. Además, establecer el conteo de la inyección en las pruebas de suministro, accionar la bandeja del porta-probetas que marca el inicio y final de la prueba, establecer la frecuencia de la inyección. Para que el operario pueda ajustar todos estos parámetros, el modulo, cuenta con una LCD y un mini teclado accesibles en el panel frontal del banco.

Finalmente, un dispositivo para detectar fugas por la válvula solenoide del inyector viene como complemento externo del banco (ver figura 50). Tiene un potenciómetro y un amperímetro analógico que permiten suministrar hasta 10 [A] para regular y controlar la corriente eléctrica que debe accionar el solenoide. El fabricante recomienda no suministrar esta corriente por un periodo superior a 2 minutos porque puede quemar el solenoide. HUS-1001 HEUI System Test Bench user's manual.

**Figura 50. Dispositivo detector de fugas banco HUS 1001.**



**3.2.1. Guía de operación.** Para iniciar se debe girar el interruptor, ubicado al costado izquierdo del banco, a la posición “ON”. Cuando se energice el sistema, se deben iluminar las pantallas del módulo de control HEUI y del control de temperatura. Estas pantallas, los interruptores y los manómetros que controlan todo el funcionamiento del banco, están ubicados en el *panel de control frontal*. Ver figura 51.

El primer paso siempre debe ser calentar el aceite de prueba. En el panel se halla el interruptor “Heater” encargado de activar el sistema de calentamiento. La posición “ON” indica que la resistencia eléctrica se encenderá para calentar el aceite cuando la temperatura esté por debajo de la objetivo, es decir, la fijada por el operador en la pantalla de control. Más tarde, cuando se alcance el nivel de calentamiento deseado la resistencia se apagará automáticamente. La posición “OFF” del interruptor, desactiva todo el sistema de calentamiento y la resistencia nunca se encenderá aunque la temperatura esté por debajo de la requerida. Para saber cómo operar la LCD del controlador, remitirse al manual de usuario del dispositivo: “User’s manual of temperature controler p/n 920070”

Luego de instalar los inyectores en la cámara de prueba y hacer las conexiones pertinentes Ver numeral 3.2.3.1 el siguiente paso debe ser encender la bomba de alimentación. Para activarla hay que llevar el interruptor “Supply pump” a la posición “ON”, luego, con la perilla “supply pressure” de la válvula reguladora se va incrementando la presión del circuito hasta el nivel deseado; este valor se mide con el manómetro de baja, de rango 0-1 [MPa].

**Figura 51. Panel de control frontal banco HUS 1001.**



Fuente: Hus 1001 user's manual -p/n 920080-

Seguido al encendido de la bomba de alimentación, se inicia la bomba de actuación. Antes de dar este paso, se debe verificar que la perilla “Actuator regulation” que controla la velocidad del motor primario, se encuentre en la posición mínima; esto para evitar que la presión aparezca súbitamente al momento de encender la bomba y ocasione algún accidente. Verificado lo anterior, se lleva el interruptor “Actuator pump” a la posición “ON”.

La presión del circuito de accionamiento puede elevarse en dos formas distintas: por medio de la válvula reguladora; que se descubre abriendo el gabinete de la instalación eléctrica del banco, o a través de la perilla “Actuator regulation” incrementando la velocidad del motor. Si se decide incrementar la presión sólo por medio de la válvula, puede ocurrir que la aguja del manómetro de alta (rango 0-35 MPa) empiece a oscilar rápida y descontroladamente; impidiendo hacer una lectura clara del valor. Esto es debido a que las revoluciones del motor, y por tanto

de la bomba de actuación, no son las suficientes para mantener el nivel de presión constante en el circuito. Para paliar esta anomalía debe incrementarse la velocidad de rotación de la bomba o, por el contrario, disminuir la resistencia impuesta con la válvula hasta alcanzar la estabilidad del sistema.

Para precisar las variables del ensayo, se recurre al mini teclado y a la pantalla LCD del módulo HEUI (ver figura 52). Primero se debe escoger el tipo de inyector, si es 7.3 o 6.0 [L]; para cambiar entre las dos opciones, se pulsa la tecla “7.3L/6.0L”.

Las letras que se visualizan en la LCD corresponden a las siguientes variables:

- C: contador de la inyección, para la medición del suministro de combustible; ajustable entre 0 y 9999.
- W: valor del ancho de pulso, ajustable en el rango 0-6.0 [ms].
- N: valor de frecuencia de inyección, ajustable en el rango 0-2000; en términos de inyección por minuto.

**Figura 52. Teclado y pantalla LCD del módulo HEUI.**



Además de la tecla para seleccionar el tipo de inyector, en el mini teclado, hay otras cuatro teclas de función. Al pulsar cada una de ellas, aparece en la pantalla

un cursor “=” que muestra el parámetro seleccionado; este se trasladará entre todas las variables para que puedan ser editadas por medio de los botones “▲” y “▼”. Las cuatro teclas de función indican:

- “Inject ON/OFF”: inicia o detiene la inyección de aceite en las probetas.
- “Pulse width”: mueve el cursor a “W” para editar valor.
- “Engine speed”: mueve el cursor a “N” para editar valor.
- “Set counter”: mueve el cursor a “C” para editar valor.

Para finalizar, en el panel de control frontal también se ubica el pulsador “E-stop” que es el de parada de emergencia. Una vez oprimido, se cortará la energía eléctrica a todos los sistemas del banco, y para volver a energizarlos, antes el pulsador debe retornar a su posición inicial. Para conocer un poco más acerca de cómo operar el banco HUS 1001, remitirse al manual del usuario “Hus 1001 user’s manual -p/n 920080-”.

**3.2.2 Protocolo de puesta en marcha.** Para el caso del banco HUS 1001 también ha sido necesario solicitar al fabricante el manual de usuario del equipo. Luego, se procede a realizar inventario de todos los componentes; tanto externos como internos y a reconocer con ayuda de los manuales cada uno de los instrumentos del panel de control frontal. Se revisa toda la instalación eléctrica; que estén bien conectados los motores de las bombas de alimentación y actuación, la fuente de poder. La conexión de mangueras de los dos circuitos hidráulicos de alta y baja presión también se inspeccionan, para corroborar que estén acordes con lo que especifica el fabricante en el manual, junto con los demás componentes: válvulas, bombas, acumulador, filtros, etc. En la cámara de pruebas también se revisan las conexiones y los puertos por donde va a retornar el aceite hacia tanque. Se examinan las probetas para comprobar que no estén rotas, igualmente la instalación de todos los inyectores de prueba.

**3.2.2.1 Diagnóstico inicial y mantenimiento previo.** El equipo se encuentra abandonado, cubierto de polvo externa e internamente. El aceite de prueba que permanecía en el depósito se halla en estado de oxidación, igual que en el caso del banco de bombas; junto con el par de filtros tipo malla metálica. La válvula de seguridad del circuito de alimentación se encuentra obstruida por residuos del aceite contaminado, esto hacía que la presión se incrementara indefinidamente y el sistema no se estabilizara. También, para este caso, los motores eléctricos giraban en sentido contrario al requerido por la conexión hidráulica, por ende se procede a corregir este fallo de instalación destapándolos e invirtiendo las fases.

**Figura 53. Estado inicial banco HUS 1001.**



**Figura 54. Aceite de prueba contaminado banco HUS 1001**



Se realiza un mantenimiento general, preventivo: se retira, con un compresor externo el polvo adherido al equipo, se lavan con mucho cuidado las partes

usando acpm: la cámara e inyectores de prueba, las probetas, las bombas, el bastidor, etc. Se reemplaza el aceite del depósito por uno en perfectas condiciones así como los dos filtros de malla oxidados que vienen sumergidos, otros dos filtros tipo cartucho recambiable también se remplazan: uno para el circuito de accionamiento y el otro para el de alimentación. Este último se compra con la referencia “*Fleetguard FF5485*”. El fabricante recomienda, en el manual del usuario cambiarlos, cambiarlos cada 6 meses de uso.

**3.2.3. Pruebas.** Las pruebas se realizan al inyector con número de parte “196-4229”, que corresponde al motor CATERPILLAR 3126E de una volqueta CHEVROLET KODIAK modelo 2009. Ver figura 55

**Figura 55. Inyector HEUI CATERPILLAR.**



El fabricante del banco proporciona una tabla de pruebas de varios inyectores HEUI (Ver Anexo A) Con esta información se sentaron las condiciones para realizar los ensayos al inyector de la volqueta KODIAK. Los resultados se juntan en una tabla que servirá de referencia para comparar futuras pruebas a inyectores del motor CATERPILLAR 3126E.

**3.2.3.1 Instalación del inyector.** Antes de montar el inyector en la cámara, se lavan cada una de sus partes con el mismo aceite que usa el banco, para evitar contaminar el sistema hidráulico. Hay que recordar que el accionamiento de este

tipo de inyectores se lleva a cabo con aceite lubricante de motor y, por tanto, sus piezas se encuentran curtidadas por este fluido.

El fabricante suministra tres juntas tóricas (O-ring) especiales para asegurar que haya un sellado perfecto en las cavidades del bloque. Estas juntas se reemplazan por las originales que vienen en el cuerpo del inyector y se les aplica una pequeña cantidad de grasa (EP-2 multipropósito) para facilitar su colocación dentro de las cavidades. Para garantizar una buena instalación, se soporta por medio de dos pernos. Ver figura 56.

**Figura 56. Instalación inyector HEUI.**



Si no se atienden correctamente estos pasos al momento de hacer la instalación y se encienden las bombas, el aceite llenará las galerías internas y la presión del líquido intentará expulsar al inyector de su lugar, o bien, el fluido saldrá a gran velocidad por cualquier abertura si hay un mal sellado. Esto puede causar lesiones al operador o daños en el equipo.

Después de ajustar muy bien el inyector, se conecta el cable que trae el pulso de corriente desde el módulo de control HEUI al solenoide de la válvula superior. Como solo se prueba un inyector, las tres cavidades restantes se tapan con los

inyectores maniqués P/N 920021 en el catálogo para cerrar el circuito completamente. Estos también se soportan con pernos en el bloque.

**3.2.3.2 Comprobaciones preliminares.** Se verifica que el aceite esté lo suficientemente caliente, en caso de no estarlo, se enciende la resistencia eléctrica hasta que alcance el valor requerido. Para los ensayos realizados, se ha fijado, en el módulo de temperatura, un límite inferior de 39 [°C].

Antes de activar el sistema hidráulico, se inspecciona que todas las perillas, tanto las que regulan velocidad como las que taran la presión del circuito, estén en la posición mínima. También se revisa el nivel de aceite en el tanque que debe estar lleno –por lo menos en un 70%- para que no afecte el funcionamiento de la resistencia eléctrica y de las bombas.

Se pone en marcha todo el sistema de accionamiento para realizar una prueba de lavado, que permita desprender y expulsar, dentro del inyector, todos los sedimentos o partículas nocivas que puedan dañar los filtros, bombas, etc. y repercutir en el funcionamiento del equipo. Para llevarla a cabo, se lleva la presión de alimentación hasta 0.4 [MPa], la presión de actuación a 12 [MPa], el ancho de pulso en 4 [ms] y el contador se establece en 100. El resultado final, muestra que el aceite de prueba fluido negro en la figura 57 sale contaminado de las galerías internas. Este ensayo, además, brinda la posibilidad de comprobar que haya un buen ajuste en la cámara de pruebas y un buen sellado de las juntas tóricas.

**Figura 57. Aceite de prueba contaminado en la probeta.**



**3.2.3.3 Verificación de la entrega de combustible del inyector.** La verificación del suministro de combustible se lleva a cabo para 4 condiciones diferentes del motor: arranque, ralentí, media y alta carga. El ejemplo que se presenta a continuación, se efectúa para las condiciones de arranque y se busca inspeccionar el volumen de aceite, por ciclo, que suministra el inyector en ese momento.

Siguiendo el procedimiento correcto de operación... Véase numeral 3.2.2... se fijan los parámetros del sistema de accionamiento: la presión de actuación en 6 [MPa] y la de alimentación en 0.4 [MPa]; que son los niveles presentes en el sistema de alimentación del motor en dicha circunstancia. A continuación se fijan los parámetros del control electrónico, estableciendo en el módulo HEUI una frecuencia de 200 [Inj/min], un conteo para 200 ciclos y un ancho de pulso de 4.2 [ms]. Con estas variables la cantidad de aceite entregado por el inyector resulta en 7.8 [ml] aproximadamente. Posteriormente, se repite el mismo ensayo modificando el ancho de pulso: para 4.5 y 4.8 [ms], respectivamente; los resultados pueden ver en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Prueba de caudal inyector HEUI.**

CARGA DE ARRANQUE			
Presión de Aliment. [MPa]	0,4	Frecuencia [Inj/min]	200
Presión de Actuación [MPa]	6,0	Conteo	200
Ancho de Pulso [ms]	Entrega [ml]	Inyección [mm <sup>3</sup> /ciclo]	
4,2	7,8	39,0	
4,5	9,5	47,5	
4,8	11,0	55,0	

Finalmente se estima que, bajo estas condiciones en el motor, el inyector suministra combustible a una razón de  $39 \text{ mm}^3/\text{ciclo}$ . El procedimiento se repite para tres condiciones restantes (ralentí, media y alta).

**3.2.3.4 Prueba de estanqueidad de la válvula solenoide.** Esta prueba verifica la condición de sellado en el asiento superior de la válvula solenoide, mediante el dispositivo detector de fugas. El detector se enchufa -con el banco apagado- a la toma 36VDC ubicada debajo del interruptor de encendido, y luego, se conecta el cable transmisor de pulso al solenoide del inyector. Asegurando que el potenciómetro este en mínimo, se energiza el banco y se activan las bombas, fijando en el circuito de alimentación 0.4 [MPa]. La presión de actuación puede establecerse entre 7 y 10 [MPa] para asegurar que, en caso de fugas pequeñas, el fluido tenga el impulso suficiente para salir y ser evidenciado por el técnico sin riesgo a sufrir accidentes.

El ensayo se inicia encendiendo el dispositivo y girando la perilla del potenciómetro lentamente. A partir de este momento la aguja del amperímetro sube y, en el instante que marca 1.5 [A], el fluido empieza a escapar por el orificio de descarga; indicando que la intensidad de corriente es suficiente para abrir la válvula y permitir el paso del aceite. Cuando el amperímetro marca 4 [A] manual

de usuario hus1001 se escucha un golpe –por el contacto de la válvula con el asiento superior- y se detiene por completo el drenado del aceite. De esta forma se comprueba el buen funcionamiento del solenoide y la buena estanqueidad en el asiento superior de la válvula.

**3.2.3.5 Verificación de la presión de apertura de la aguja.** La presión de apertura, es la presión mínima que debe tener el combustible para correr la aguja del inyector y salir pulverizado al interior de la cámara de combustión. Para censar este valor en el banco de pruebas se utiliza el manómetro de alta, por tanto, es por medio de la presión de actuación que se define este parámetro.

Las variables se fijan antes de iniciar la prueba: la presión de alimentación en 0.4 [MPa], el ancho de pulso de 4 [ms] y la frecuencia en 200; que son las condiciones del sistema para el arranque del motor. Seguido, se empieza a incrementar gradualmente la presión del circuito, en un trabajo conjunto entre la perilla de velocidad de la bomba y la de taraje en la válvula reguladora; el ensayo finaliza cuando por la tobera de prueba aparece goteo de aceite y esto ocurre sólo hasta que el manómetro marca 6 [MPa], aproximadamente.

El cálculo de la presión de apertura se realiza multiplicando por seis la presión del circuito de actuación, debido a que la relación de áreas del pistón intensificador es 6:1. Finalmente, el resultado es 36 [MPa].

**3.2.3.6 Análisis de resultados.** En el cuadro11 se anexan los caudales entregados por el inyector para las condiciones de ralentí, media y plena carga del motor.

**Cuadro 11. Resultados de suministro inyector HEUI.**

<b>CARGA MÍNIMA O RALENTÍ</b>			
<b>Presión de Aliment. [MPa]</b>	0,4	<b>Frecuencia [lnj/min]</b>	400
<b>Presión de Actuación [MPa]</b>	7,0	<b>Conteo</b>	500
<b>Ancho de Pulso [ms]</b>	<b>Entrega [ml]</b>	<b>Inyección [mm<sup>3</sup>/ciclo]</b>	
2.0	7,5	15,0	
2.2	9,0	18,0	
2.4	11,5	23,0	
<b>CARGA MEDIA</b>			
<b>Presión de Aliment. [MPa]</b>	0,4	<b>Frecuencia [lnj/min]</b>	1000
<b>Presión de Actuación [MPa]</b>	12,0	<b>Conteo</b>	500
<b>Ancho de Pulso [ms]</b>	<b>Entrega [ml]</b>	<b>Inyección [mm<sup>3</sup>/ciclo]</b>	
2,6	20,0	40,0	
2,8	24,5	49,0	
3,0	30,2	60,4	
<b>CARGA ALTA</b>			
<b>Presión de Aliment. [MPa]</b>	0,4	<b>Frecuencia [lnj/min]</b>	1300
<b>Presión de Actuación [MPa]</b>	14,0	<b>Conteo</b>	200
<b>Ancho de Pulso [ms]</b>	<b>Entrega [ml]</b>	<b>Inyección [mm<sup>3</sup>/ciclo]</b>	
2.3	15,0	75,0	
2.5	18,5	92,5	
2.7	23,8	119,0	

Se puede evidenciar en los resultados un aumento del aceite entregado, cuando se variaron las condiciones desde mínima o ralentí hasta máxima carga. Para lograr esto se fijaron los parámetros: presión de actuación, frecuencia y ancho de pulso; según la tabla de pruebas suministrada por el fabricante del banco.

### 3.3 PROBADOR EUS-1001

Este componente ha sido diseñado para probar inyectores tipo EUI y bombas unitarias EUP en un banco de pruebas universal, en este caso el TST-C. Está

compuesto por la caja de levas -cambox- y los adaptadores para el montaje de las bombas o los inyectores, según sea el caso. Ver figura 58.

El *cambox* posee unas dimensiones de 107 x 108 x 210 [mm]. Lleva una muesca centrada en la superficie inferior de la base que sobresale y sirve soportarlo en el cabezal del banco. Las piezas que lo conforman son: un árbol de levas (de una sola leva) que descansa sobre unos rodamientos, dos tapas de presión laterales con su respectiva tornillería y empaquetadura que dan sostén a los rodamientos y un acople para ensamblar el árbol de levas al sistema propulsor del banco. En una de las tapas se ubica un sensor de velocidad que conecta el módulo electrónico para censar el movimiento de todo el mecanismo.

**Figura 58. Probador EUS 1001.**



Este conjunto probador, simula las condiciones de los dispositivos EUI y EUP en el motor de combustión interna. El movimiento que produce el banco de prueba TST-C es transmitido al árbol de levas del cambox donde, por cada vez que la leva completa un ciclo, actúa sobre el elemento produciendo el incremento de presión para la inyección. El sensor ubicado en la tapa lateral de la caja, detecta la velocidad del árbol de levas y emite una señal al módulo de control electrónico

que, a su vez, envía un pulso eléctrico al dispositivo que se ensaya para activar el solenoide regular la cantidad de combustible entregado.

El modulo electrónico está conformado por una LCD para visualización de los parámetros de la prueba y un teclado de 6 botones en su cara frontal (ver figura 59) por la posterior, se encuentran: el interruptor para energizar el sistema, una toma para conectar un polo a tierra, el conector que recibe información del sensor de velocidad y el que transmite el pulso al solenoide del inyector.

**Figura 59. Modulo electrónico DEL EUS 1001.**



**3.3.1 Guía de operación.** Para empezar a operar este equipo y comenzar las pruebas, antes debe encenderse el banco TST-C siguiendo el procedimiento correcto Ver numeral 3.1.1. Una vez se haya activado el sistema de alimentación y el motor eléctrico del banco, se prosigue a fijar los parámetros del control electrónico en el módulo.

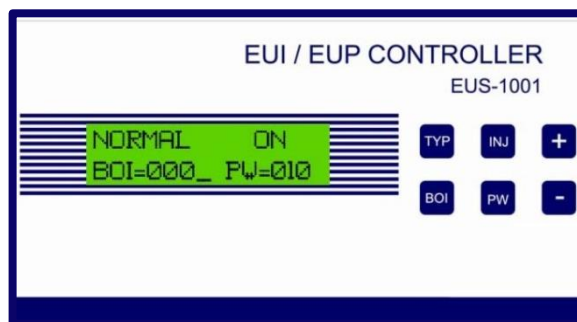
Si ya está conectado al tomacorriente, se puede energizar el panel de control accionando el interruptor “AC POWER”. En ese momento, la pantalla frontal muestra los modos de ajuste, es decir, el estado e inicio de la inyección, el ancho de pulso y el tipo de señal de activación; que depende del modelo de inyector que

se está probando (ver figura 60). Los parámetros que se visualizan indican lo siguiente:

- “ON” o “OFF”: El estado de activación o desactivación del solenoide.
- “CUMMINS” o “NORMAL”: Se modifica el tipo de señal. El primer caso debe seleccionarse cuando se prueban inyectores CUMMINS CELECT y el segundo para cualquier otro modelo.
- “PW”: Permite establecer el ancho de pulso; medido en grados.
- “BOI”: Marca el inicio de la inyección; medido en grados.

Todos estos parámetros se pueden variar por medio del teclado. Para seleccionar el modelo de inyector se presiona la tecla “TYP” y para comenzar la activación del solenoide se oprime “INJ”. Las teclas “PW” y “BOI” permiten posicionarse sobre las variables ancho de pulso e inicio de inyección, respectivamente; para modificar estos parámetros se usan las teclas “-” y “+” “EUS-1001 eui/eup tester user’s manual v2.61”.

**Figura 60. Pantalla del módulo de control EUS 1001**



Fuente: EUS-1001 eui/eup tester user’s manual v2.61

**3.3.2 Protocolo de puesta en marcha.** Adquirir el manual de usuario y el catálogo de partes ha sido el primer paso. Seguidamente se procede a reconocer e inventariar todos los componentes que, hasta la fecha, se encontraban

empacados en el taller (ver figura 61). Las piezas se encuentran cubiertas de grasa y se lavan una por una con acpm.

**Figura 61. Estado inicial CAMBOX**



**3.3.2.1 Ensamble y montaje al banco TST-C.** Identificados todos los componentes del probador, se seleccionan los que corresponden al dispositivo que se desea probar. Para este caso se escogen los requeridos para montar un inyector CUMMINS N14.

**Figura 62. Adaptadores EUI y EUP**



Haciendo uso del manual del usuario se realizan los siguientes pasos para el armado del *cambox*: acoplar los rodamientos y el buje para el censado de las RPM del árbol de levas; ponerlos en el interior de la caja ajustándolos con unos pequeños golpes, sellar las paredes de la caja con las tapas de presión y

posicionar el sensor de velocidad. Ajustar los tornillos de llenado y drenaje, presentar el eje del *cambox* con el cabezal del banco haciendo coincidir la guía que tiene la base con la ranura de la bancada. Es necesario, antes de montar el adaptador del inyector, llenar con aceite lubricante (puede ser SAE-50) la caja de levas hasta el nivel marcado por el tornillo de llenado. Por último, se fijan las zapatas y el acople.

**Figura 63. Lubricación CAMBOX**



**Figura 64. Ensamble del CAMBOX**



Luego de terminar de ensamblar el *cambox*, se hace el armado del *adaptador EUI*. Para esto se acopla el seguidor de levas y el buje impulsor en la placa del adaptador; se atornillan a la placa los dos pernos espárragos. Se fija el inyector en

su base y se hace descansar el embolo impulsor del inyector entre el buje que conecta con el seguidor de levas y la platina rectangular; que es pasada por el extremo libre de los pernos espárragos y sujeta mediante tuercas. Luego, con el conjunto armado, se acopla al *cambox* y se conectan las líneas de suministro; desde la toma “*fuel supply PE-A*” al puerto de entrada del adaptador y la toma “*fuel return*” del banco al puerto de retorno del adaptador. Para hacer las mediciones hay que llevar el aceite inyectado hacia las probetas; para esto se utiliza una boquilla de prueba especial -p/n 900880 en el catálogo- con acople rápido tipo “*fitting*” neumático, por tanto, debe reemplazarse por unos de los inyectores de prueba del banco. Finalmente, se conecta el sensor de velocidad y el solenoide del inyector al módulo de control electrónico.

**Figura 65. Acople del cambox al cabezal**



**Figura 66. Conexión de mangueras EUS 1001.**



**3.3.3 Pruebas.** Las pruebas se realizan al inyector con número de parte “3411764”, que corresponde al motor CUMMINS CELECT N14 de un tracto-camión FREIGHTLINER modelo 2001. Ver figura 67.

**Figura 67. Inyector CUMMINS CELECT N14.**



**3.3.3.1 Comprobaciones preliminares.** Se verifica que el aceite esté lo suficientemente caliente, en caso de no estarlo, se enciende la resistencia eléctrica del banco hasta que alcance el valor requerido. Para los ensayos se han fijado 40 [°C].

Se revisa el nivel de aceite en el tanque que debe estar por lo menos en un 70% para que no afectar el funcionamiento de la resistencia eléctrica y de las bombas.

Efectuar giros manuales en el volante de inercia para verificar que haya un buen ensamble entre el *cambox* y el adaptador EUI, con el objetivo de que el inyector no vaya a sufrir fuertes impactos al momento de hacerlo girar a altas revoluciones. Luego, poner en marcha el sistema para realizar una primera prueba de lavado, que permita desprender y expulsar, dentro del inyector, todos los sedimentos o partículas nocivas que puedan contaminar el aceite de prueba y dañar componentes del banco. También para purgar las líneas.

**3.3.3.2 Verificación de la entrega de combustible.** Como en el caso de los inyectores HEUI, se inspecciona la cantidad de combustible inyectado por ciclos. Teniendo en cuenta que en el motor CUMMINS N14 la presión de combustible varía de 0.2 [MPa] en el arranque, hasta 0.8 [MPa] a 1200 revoluciones por minuto<sup>12</sup>; la prueba se efectúa tarando una presión de 0.4 [MPa] en el sistema de alimentación del banco TST-C. Para lograr este nivel se gira la perilla del panel de control 3 hacia la izquierda y se toma lectura en el manómetro de rango 0-4 [MPa]. Seguido, se fija una velocidad de 800 revoluciones por minuto.

Para establecer los parámetros del control electrónico, antes, se escoge el tipo de señal para inyectores CUMMINS. Luego, se ajusta un ancho de pulso de 40 grados y el inicio de la inyección en 10 grados. Finalmente la entrega se mide para 100 ciclos y la probeta registra un volumen de 3.8 [ml]; repitiendo el procedimiento para calcular la inyección Ver numeral 3.1.3.9 se determina que en estas condiciones el inyector suministra 38 mm<sup>3</sup>/ciclo.

La entrega a 800 revoluciones también se toma para varios anchos de pulso y todo el ensayo se repite para 500 [rpm].

**3.3.3.3 Análisis de resultados.** A continuación se resume en el cuadro 12 los resultados obtenidos en la prueba de caudal del inyector, para dos condiciones de velocidad: 500 y 800 [rpm]. Los grados de duración del pulso PW se variaron entre 10 y 90 grados y en todo momento el inicio de la inyección (BOI) se fija para 10 grados.

---

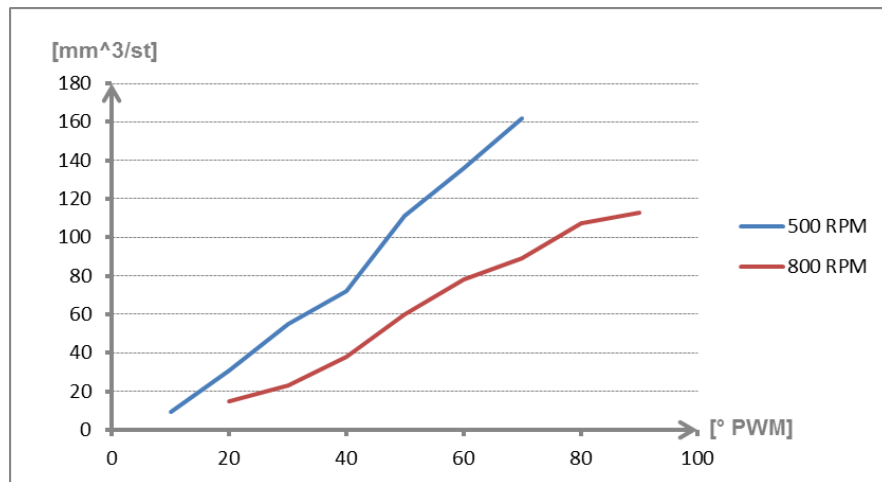
<sup>12</sup> DIESEL SERVICE PARTS N14 Cummins Quik Sheet. [en línea] [Citado 19 de marzo de 2015] Disponible en: <http://www.diesel-service-parts.com/n14-cummins.html>

**Cuadro 12. Prueba de caudal del inyector MEUI.**

PW	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
500 [RPM]	9	31	55	72	111	136	162		
800 [RPM]		15	23	38	60	78	89	107,5	113

La curva de la figura 68 refleja el comportamiento inyección vs PWM del cigüeñal en la que se puede visualizar el comportamiento lineal que existe entre la duración del pulso y la entrega total suministrada por el inyector.

**Figura 68. Curva INYECCION Vs PW inyector MEUI.**



### 3.4. GUIAS PARA REALIZAR PRUEBAS

En este apartado se presentan una serie de guías elaboradas a partir de los ensayos hechos en los bancos TST-C y HUS 1001. Estos formatos le permitirán al técnico del laboratorio realizar actividades específicas y dirigirse inmediatamente

al instrumento del banco correspondiente a la medición que desea realizar. Las guías brindan la posibilidad de operar el banco mientras se realizan las pruebas.

El cuadro 13 presenta la guía de manejo del banco TST-C para calibrar una bomba en línea. El cuadro 14 presenta la guía de manejo del banco TST-C para calibrar una bomba rotativa El cuadro 15 presenta la guía de manejo del banco HUS 1001 para probar inyectores HEUI. El cuadro 16 presenta la guía de manejo del banco TST-C y el probador EUS 1001 para probar inyectores MEUI

**Cuadro 13. Guía de pruebas bombas en línea.**

BANCO TST-C				
PRUEBAS BOMBA EN LINEA				
SECUENCIA	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTO DEL BANCO	HERRAMIENTA AUXILIAR	OBSERVACIONES
<b>1. MONTAJE</b>				
1.1	Retirar el variador de avance y la bomba de transferencia de la bomba lineal.	-	-	-
1.2	Seleccionar soporte, brida, anillo y acople correspondientes a la bomba.	-	-	-
1.3	Ensamblar los elementos del numeral 1.2 a la bomba y presentarla al banco	-	-	-
1.4	Alinear del eje de la bomba con el cabezal y ajustar.	-	-	-
1.5	Conecta las mangueras de suministro y descarga.	-	-	-
<b>2. COMPROBACIONES PRELIMIMARES</b>				
2.1	Verificar la presión de apertura de los inyectores de prueba.	-	probador manual de inyectores	Ajustar según tabla de calibración.
2.2	Calentar el aceite de prueba del depósito.	Interface de control -PC- o switch termostato del panel 1.	-	Ajustar según tabla de calibración.
2.3	Imprimir una velocidad a la bomba para corroborar su alineación y verificar la entrega de combustible por cada cilindro.	Botón "ON RPM". Perilla de ajuste de la velocidad. Interruptor "ON FUEL". Perilla del panel de control 3	-	La velocidad es baja. Girar la perilla del panel de control 3 en sentido horario.

<b>BANCO TST-C</b>				
<b>PRUEBAS BOMBA EN LINEA</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
2.4	Purgar la tubería de alta presión.	Botón "ON RPM". Perilla de ajuste de la velocidad. Interruptor "ON FUEL". Perilla del panel de control 3.	Llave de boca de 10 mm	Girar en sentido horario.
<b>3. VERIFICACION DE LA PRE-CARRERA</b>				
3.1	Desconectar la tubería del pistón número 1, sólo en el extremo que conecta al inyector.	-	Llave de boca de 10 mm	La tubería debe permitir apreciar el goteo.
3.2	Sujetar y posicionar adecuadamente el comparador de caratula.	-	Base magnética	-
3.3	Llevar el impulsor del pistón número 1 a la zona más baja y fijarlo por medio de una extensión al comparador de carátula.	Cabezal del banco		-
3.4	Medir el desplazamiento del pistón desde el PMI hasta cerrar los orificios de llenado.	-	Comparador de carátula.	Ajustar según tabla de calibración. Apreciar el goteo.
3.6	Referenciar los 270 grados del disco goniometrico al finalizar la medición.	-	Aguja imantada	La aguja se adhiere al banco
3.7	Girar el volante de inercia 90 grados por tres veces	-	-	Breve bloqueo del cabezal Cada 90 grados.
<b>4. VERIFICACION DE LA PRESION INTERNA DE LA BOMBA</b>				
4.1	Encender la bomba de alimentación del banco TST-C	interruptor "ON FUEL"	-	-
4.2	Ajustar el sistema de baja presión. Visualizar manómetro (0-0.4 Mpa) del panel 2	Perilla del panel de control 3, girar en sentido horario.	-	Ajustar según tabla de calibración.
4.3	Se inspecciona si corre fluido por la manguera de retorno	-	-	-
<b>5. VERIFICACION DEL AJUSTE DE COMBUSTIBLE A PLENA CARGA</b>				
5.1	Encender el motor eléctrico del banco y fijar la velocidad.	Botón "ON RPM". Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
5.2	Programar el conteo para la primera parte de la prueba, sin tomar en cuenta el compensador de carga del turbo	Pantalla "COUNTER"	-	Ajustar según tabla de calibración.
5.3	Realizar la prueba posicionando la palanca del acelerador a tope máximo	Botón "COUNT"	-	Comparar resultados con la tabla de calibración

<b>BANCO TST-C</b>				
<b>PRUEBAS BOMBA EN LINEA</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
5.4	Hacer la conexión del turbo alimentador y ajustar la presión de este para la segunda parte de la prueba.	Perilla " AIR ADJUST"	Manguera de presión	Ajustar según tabla de calibración.
5.5	Programar el conteo para la prueba	Pantalla "COUNTER"	-	Ajustar según tabla de calibración.
5.6	Realizar la prueba posicionando la palanca del acelerador a tope máximo	Botón "COUNT"	-	Comparar resultados con la tabla de calibración
<b>6. VERIFICACION DEL AJUSTE DE LA PALANCA A MAXIMA VELOCIDAD.</b>				
6.1	Encender el motor eléctrico del banco.	Botón "ON RPM"	-	-
6.2	posicionar la palanca del acelerador al tope máximo fijado para la bomba lineal	-	-	-
6.3	Incrementar las [RPM] del banco	Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
6.4	Inspección visual del control realizado por la bomba lineal	-	-	Corta el suministro de combustible hacia lo inyectores
<b>7. VERIFICACIÓN DEL AJUSTE DE LA PALANCA A BAJA VELOCIDAD</b>				
7.1	Encender el motor eléctrico del banco y fijar RPM.	Botón "ON RPM". Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
7.2	Encender la bomba de alimentación del banco.	interruptor "ON FUEL"	-	-
7.3	Ajustar el sistema de baja presión.	Perilla del panel de control 3.	-	Ajustar según tabla de calibración.
7.4	Programar el conteo para la prueba.	Pantalla "COUNTER"	-	Ajustar según tabla de calibración.
7.5	Realizar la prueba teniendo la palanca del acelerador en reposo.	Botón "COUNT"	-	Comparar resultados con la tabla de calibración
7.6	Realizar la prueba anterior a menos RPM teniendo la palanca del acelerador en reposo.	Perilla de ajuste de la velocidad. Pantalla "COUNTER". Botón "COUNT".	-	Incrementa el combustible inyectado. Comparar resultados con la tabla de calibración.
7.7	Realizar la prueba inicial a más RPM teniendo la palanca del acelerador en reposo.	Perilla de ajuste de la velocidad. Pantalla "COUNTER". Botón "COUNT".	-	Disminuye el combustible inyectado. Comparar resultados con la tabla de calibración.

**Cuadro 14. Guía de pruebas bombas rotativas.**

<b>BANCO TST-C</b>				
<b>PRUEBAS BOMBA ROTATIVA</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>1. MONTAJE</b>				
1.1	Retirar la brida del motor.			
1.2	Seleccionar soporte, brida, anillo y acople correspondientes a la bomba.	-	-	-
1.3	Ensamblar los elementos del numeral 1.2 a la bomba y presentarla al banco	-	-	-
1.4	Alinear del eje de la bomba con el cabezal y ajustar.	-	-	-
1.5	Conecta las mangueras de suministro y descarga.	-	-	-
<b>2. COMPROBACIONES PRELIMINARES</b>				
2.1	Verificar la presión de apertura de los inyectores de prueba.	-	probador manual de inyectores	Ajustar según tabla de calibración.
2.2	Calentar el aceite de prueba del depósito.	Switch termostático del panel 1 o Interface de control -PC.	-	Ajustar según tabla de calibración.
2.3	Ajustar velocidad y presión de suministro para corroborar la alineación de la bomba y verificar la entrega de combustible.	Botón "ON RPM". Perilla de ajuste de la velocidad. Interruptor "ON FUEL". Perilla del panel de control 3.	-	La velocidad es baja. Girar la perilla del panel de control 3 en sentido horario.
2.4	Purgar la tubería de alta presión.	Botón "ON RPM". Perilla de ajuste de la velocidad. Interruptor "ON FUEL". Perilla del panel de control 3.	Llave de boca fija de 10 mm	Girar en sentido horario.
<b>3. AJUSTE PRESIÓN DE TRANSFERENCIA</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
3.1	Ajustar el sistema de baja presión. Visualizar manómetro (0-0.4 Mpa) del panel 2	Perilla del panel de control 3, girar en sentido horario.	-	Ajustar según tabla de calibración.
3.2	inspeccionar la manguera de retorno	-	-	Circula fluido de retorno.
<b>4. VERIFICACIÓN DE LA CÁMARA DE PRESIÓN.</b>				
4.1	Conectar una manguera antes de la válvula de retorno hasta el manómetro auxiliar (0-1.6 Mpa).	-	Manguera de presión.	-

<b>BANCO TST-C</b>				
<b>PRUEBAS BOMBA ROTATIVA</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
4.2	Encender el motor eléctrico y bomba de alimentación.	Interruptor "ON FUEL". Botón "ON RPM".	-	-
4.3	Ajustar la presión de suministro	Perilla del panel de control 3.	-	Ajustar según tabla de calibración.
4.4	Conectar el compensador de carga del turbo y ajustar la presión del aire, visualizar en manómetro de (-0.1-0.5 Mpa)	Perilla "AIR ADJUST"	Manguera de aire	Ajustar según tabla de calibración.
4.5	Ajustar RPM del motor con el solenoide de la bomba VE activado.	Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
4.6	visualizar el incremento de la presión interna en el manómetro auxiliar (0-1.6 Mpa)	-	-	Comparar resultados con la tabla de calibración.
4.7	Variar la velocidad y la presión del aire para realizar varios ensayos	Perilla de ajuste de la velocidad. Perilla "AIR ADJUST"	-	Ajustar según tabla de calibración.
<b>5. AJUSTE DEL VARIADOR DE AVANCE DE LA INYECCIÓN</b>				
5.1	Retirar tapa del dispositivo de avance en la bomba e instalar el medidor de avance.	-	-	-
5.2	Encender el motor eléctrico y bomba de alimentación.	Botón "ON RPM". Interruptor "ON FUEL".	-	-
5.3	Imprimir velocidad al motor y ajustar el sistema de baja presión.	Perilla de ajuste de la velocidad. Perilla del panel de control 3.	-	Velocidad de 300 RPM y presión de 0.02 Mpa
5.4	Soltar el tornillo del medidor de avance y purgarlo.	-	-	-
5.5	Conectar el compensador de carga del turbo, fijar presión del aire y velocidad del banco.	Perilla "AIR ADJUST". Perilla de ajuste de la velocidad.	Manguera de aire	Ajustar según tabla de calibración.
5.6	Realizar varias pruebas del numeral 5.5 y medir el desplazamiento del variador de avance.	-	variador de avance	Comparar resultados con la tabla de calibración
<b>6. AJUSTE DEL SUMINISTRO MÁXIMO.</b>				
6.1	Encender el motor eléctrico y la bomba de alimentación del banco.	Botón "ON RPM". Interruptor "ON FUEL".	-	-
6.2	Ajustar los parámetros de velocidad y presión de suministro para la prueba.	Perilla del panel de control 3. Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
6.3	Programar el conteo.	Pantalla "COUNTER"	-	-

<b>BANCO TST-C</b>				
<b>PRUEBAS BOMBA ROTATIVA</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
6.4	Conectar el compensador de carga del turbo, ajustar presión del aire y velocidad del banco.	Perilla "AIR ADJUST". Perilla de ajuste de la velocidad.	Manguera de aire	Ajustar según tabla de calibración.
6.5	Programar el conteo.	Pantalla "COUNTER"	-	-
6.6	Empezar las pruebas teniendo la palanca del acelerador a tope máximo.	Botón "COUNT"	-	Comparar resultados con la tabla de calibración
<b>7. AJUSTE DE LA VELOCIDAD DE CORTE.</b>				
7.1	Encender el motor eléctrico y la bomba de alimentación del banco.	Botón "ON RPM". Interruptor "ON FUEL".	-	-
7.2	Ajustar los parámetros de velocidad y presión de suministro para la prueba del corte en mínimas.	Perilla del panel de control 3. Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Se aprecia el corte de combustible.
7.3	Ajustar los parámetros de velocidad y presión de suministro para la prueba del corte en máxima.	Perilla del panel de control 3. Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Se aprecia el corte de combustible.
<b>8. AJUSTE DEL SUMINISTRO EN RALENTÍ.</b>				
8.1	Encender el motor eléctrico y la bomba de alimentación del banco.	Botón "ON RPM". Interruptor "ON FUEL".	-	-
8.2	Ajustar los parámetros de velocidad y presión de suministro para la prueba de ralentí.	Perilla del panel de control 3. Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
8.3	Programar el conteo y realizar la prueba sin sujetar la palanca de aceleración limitada por el perno de velocidad mínima.	Pantalla "COUNTER". Botón "COUNT".	-	Comparar resultados con la tabla de calibración
<b>9. AJUSTE DEL CAUDAL DE ARRANQUE.</b>				
9.1	Encender el motor eléctrico y la bomba de alimentación del banco.	Botón "ON RPM". Interruptor "ON FUEL".	-	-
9.2	Ajustar los parámetros de velocidad y presión de suministro para la prueba del caudal de arranque.	Perilla del panel de control 3. Perilla de ajuste de la velocidad.	-	Ajustar según tabla de calibración.
9.3	Programar el conteo y realizar la prueba sin sujetar la palanca de aceleración limitada por el perno de velocidad mínima.	Pantalla "COUNTER". Botón "COUNT".	-	Comparar resultados con la tabla de calibración

**Cuadro 15. Guía de pruebas inyector HEUI.**

<b>BANCO HUS 1001</b>				
<b>PRUEBAS INYECTOR HEUI</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>1. MONTAJE</b>				
1.1	Limpia y lavar previamente el inyector	-	-	-
1.2	Instalar en el cuerpo del inyector los o-ring de prueba especiales	-	-	Aplicar un poco de grasa
1.3	Introducir el inyector en la cavidad del bloque y ajustarlo con pernos	-	-	-
1.4	Sellar las cavidades que no se van a utilizar con los inyectores maniqués-			Ajustar al bloque con pernos
1.5	Conectar el cable del módulo de control en el solenoide	-	-	-
<b>2. COMPROBACIONES PRELIMINARES</b>				
2.1	Ajustar temperatura del aceite entre 40 y 45 [°C]	Modulo control de temperatura	-	Revisar el nivel de aceite en el tanque
2.2	Verificar que todas las perillas se encuentren en la posición mínima	-	-	-
2.3	Encender la bomba de alimentación	interruptor "supply pump"	-	-
2.4	Ajustar la presión de alimentación en 0.4 [MPa]	perilla "supply pressure"	-	Medir con manómetro (0-1 Mpa)
2.5	Encender la bomba de actuación	interruptor "Actuator pump"	-	-
2.6	Ajustar la presión de actuación en 12 [MPa]	perilla "actuator regulation" o válvula de seguridad	-	Medir con manómetro (0-40 Mpa)
2.7	Realizar una primera prueba de lavado efectuando un conteo para 100 disparos	-	-	-
<b>3. VERIFICACIÓN DE PRESIÓN DE APERTURA</b>				
3.1	Ajustar la presión de alimentación en 0.4 [MPa]	perilla "supply pressure"	-	Medir con manómetro (0-1 Mpa)
3.2	Fijar un ancho de pulso de 4 [ms] y una frecuencia de 200	-	-	-

<b>BANCO HUS 1001</b>				
<b>PRUEBAS INYECTOR HEUI</b>				
<b>SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO DEL BANCO</b>	<b>HERRAMIENTA AUXILIAR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
3.3	Incrementar gradualmente la presión de actuación hasta que aparezca el goteo en la probeta	perilla "actuador regulation" o válvula de seguridad	-	Medir con manómetro (0-40 Mpa)
<b>4. VERIFICACION DE LA ENTREGA DE COMBUSTIBLE</b>				
4.1	Ajustar la presión de alimentación en 0.4 [MPa]	perilla "supply pressure"	-	Medir con manómetro (0-1 Mpa)
4.2	Ajustar la presión de actuación en 6 [MPa]	perilla "actuador regulation" o válvula de seguridad	-	Medir con manómetro (0-40 Mpa)
4.3	Fijar la frecuencia, el ancho de pulso y el conteo	módulo HEUI	-	Fijar según tabla de pruebas
4.4	Repetir el procedimiento para las diferentes condiciones	-	-	-
<b>5. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD VALVULA SOLENOIDE</b>				
5.1	Conectar el dispositivo detector de fugas	toma 36VDC	-	-
5.2	Conectar el cable del dispositivo al solenoide del inyector	-	-	-
5.3	Asegurarse que el potenciómetro del detector está en mínimo antes de energizar el banco	-	-	-
5.4	Energizar el banco y ajustar una presión de alimentación de 0,4 [MPa]	perilla "supply pressure"	-	Medir con manómetro (0-1 Mpa)
5.5	Fijar la presión de actuación entre 7 y 10 [MPa]	perilla "actuador regulation" o válvula de seguridad	-	Medir con manómetro (0-40 Mpa)
5.6	Aumente la corriente ligeramente con el potenciómetro hasta que aparezca el chorro de aceite por el orificio de drenaje	Detector de fugas	-	-
5.7	Ahora siga aumentando hasta que selle completamente	Detector de fugas	-	El cierre se alcanza con una corriente entre 3 y 4 [A]

**Cuadro 16. Guía de pruebas inyector MEUI**

BANCO TST-C				
PRUEBAS INYECTOR MEUI				
SECUENCIA	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTO DEL BANCO	HERRAMIENTA AUXILIAR	OBSERVACIONES
<b>1. MONTAJE</b>				
11	Seleccionar adaptador EUI, anillos y acoples correspondientes	-	-	-
1.2	Ensamblar los elementos del numeral 1.2 con el cambox y presentarlo al banco	-	-	-
1.3	Alinear del eje de la bomba cambox con el cabezal y ajustar.	-	-	-
1.4	Conecta las mangueras de suministro y descarga del banco	-	-	-
1.5	Conectar el módulo electrónico al solenoide del inyector y al sensor de velocidad del cambox	-	-	-
1.6	Conectar la manguera de entrega a la boquilla de prueba especial y reemplazarla por un inyector del banco	-	-	-
<b>2. COMPROBACIONES PRELIMINARES</b>				
2.1	Ajustar temperatura del aceite entre 40 y 45 [°C]	Switch termostático del panel 1 o Interface de control -PC.	-	-
2.2	Revisar nivel de aceite en el tanque	-	-	mínimo 70%
2.3	Girar manualmente el volante de inercia antes de encender el motor eléctrico	-	-	Verificar que no se produzcan golpes entre el inyector y la leva
2.4	Ajustar la presión de alimentación en 0.4 [MPa]	Perilla del panel de control 3	-	-
2.5	Encender el motor eléctrico y fijar 300 [rpm]	-	-	-
2.6	Fijar el ancho de pulso PW y el BOI	módulo electrónico	-	-
2.7	Realizar una primera prueba de lavado efectuando un conteo para 100 disparos	-	-	El fluido contaminado desecharlo fuera del compartimiento de probetas
<b>3. PRUEBA DE CAUDAL</b>				
3.1	Encender el motor eléctrico y la bomba de alimentación del banco.	Botón "ON RPM". Interruptor "ON FUEL".	-	-
3.2	Ajustar los parámetros de velocidad y presión de suministro para la prueba.	Perilla del panel de control 3. Perilla de ajuste de la velocidad.	-	-
3.3	Fijar el ancho de pulso PW y el BOI	Módulo electrónico	-	Fijar según tabla de pruebas
3.3	Programar el conteo.	Pantalla "COUNTER"	-	-



En la parte superior derecha están las casillas: código, revisión; cuyos parámetros los establece la empresa y se fijan una vez aceptado el formato. La casilla “fecha” muestra el día en que se aprueba y empieza a regir el procedimiento; ninguno de estos parámetros podrá ser alterado luego.

A partir de las casillas “ingreso de componente” - “salida de componente” se encuentra el cuerpo del formato. En estos dos niveles se diligencian la fecha y hora de llegada de bombas e inyectores y, posterior a la calibración, de salida del laboratorio. En el ítem “por concepto” el técnico (o quien llena el formato) anotará en forma clara las razones por las cuales considera que cierto componente debe ingresar al laboratorio, por ejemplo: calibración, cambio de pistón, etc. Este primer concepto resultado de la inspección visual hecha directamente en la máquina, guiará al laboratorista para empezar a revisar y hacer los primeros diagnósticos. En la casilla “proyecto” se debe consignar el nombre del proyecto en el cual se encuentra operando la máquina o el vehículo al que se le ha desmontado la parte. La “descripción” debe reunir aquellas características o propiedades físicas que distinguen al componente que va a ingresar al laboratorio, de otros similares; por ejemplo: color, marca, número de parte, etc. En la casilla de “referenciado” se debe anexar el modelo de la máquina o vehículo al que pertenecen la bomba o el inyector (según sea el caso) junto al número de identificación que ha asignado la empresa al equipo.

Finalmente, se deben diligenciar las firmas de hasta tres funcionarios: quien recibe en el laboratorio y hará la calibración, quien traslada el componente y hace entrega del mismo, y finalmente, quien autoriza la realización del trabajo; que debe ser un supervisor del área o algún funcionario de rango superior en la empresa.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una metodología para poner en funcionamiento los bancos de prueba de la empresa CONSTRUVICOL S.A. El banco TST-C, que permite calibrar bombas de inyección diésel y el HUS 1001, en el que se pueden inspeccionar inyectores electrónicos diésel.
- El banco TST-C es una estación de prueba universal. En su estado natural sólo permite calibrar bombas en línea y rotativas con regulación mecánica, pero, si se le equipa con los componentes necesarios, puede habilitarse para calibrar sistemas de regulación electrónica. El probador EUS 1001 es un accesorio adicional que acondiciona el banco universal para inspeccionar inyectores de regulación electrónica y accionamiento mecánico.
- Las pruebas de suministro efectuadas a la bomba rotativa, muestran variaciones de caudal entre las probetas, de aproximadamente 1 [ml]. Teniendo en cuenta que en estos sistemas hay un único elemento de bombeo, si estas diferencias son muy pronunciadas es indicativo de averías por desgaste en el cabezal hidráulico y esto supone su reemplazo. Como se tiene la certeza que la bomba está funcionando bien, se concluye que la variación es debida a pérdidas entre tuberías, inyectores de prueba, probetas y demás elementos del banco.
- Para comparar los resultados de las pruebas hechas en el banco TST-C, con las tablas de calibración de la bomba, es necesario, previamente, ajustar todas las condiciones exigidas por el fabricante. Esto conllevaría a que el mantenimiento se haga extremadamente costoso para las aspiraciones de la

empresa. Por tanto, deben elaborarse tablas de calibración propias que, bajo las mismas condiciones de ensayo, permitan comparar el funcionamiento de las diferentes bombas.

- Los inyectores electrónicos no pueden calibrarse igual que las bombas de inyección. El banco HUS 1001 es una estación que permite comparar el funcionamiento entre inyectores del sistema HEUI; para esto deben confeccionarse tablas de pruebas a partir de inyectores maestros.
- Las curvas de operación de las bombas, obtenidas en las pruebas, tienen el mismo comportamiento que las suministradas por el fabricante. Esto evidencia que el regulador de la bomba está controlando para todas las velocidades.
- Los caudales obtenidos no están dentro de los rangos de la tabla de calibración. Esto debido a que los inyectores de prueba, el tipo de aceite de prueba, las válvulas de retorno, tuberías de alta presión y otros elementos condicionados por el fabricante no fueron utilizados para desarrollar las pruebas. También se puede deber a que los instrumentos de medición del banco no estén calibrados, ya que no son equipos certificados una norma internacional.
- El procedimiento de operación de los bancos es muy similar. En los dos casos debe iniciarse el sistema de alimentación antes del sistema de accionamiento. Esto es así porque el fabricante aconseja no poner a funcionar bombas e inyectores sin la presencia del aceite de prueba, ya que puede ocasionar daño en sus piezas móviles.

## 5. RECOMENDACIONES

- Acondicionar y aislar el laboratorio de partículas nocivas que se presentan en el ambiente, como polvos, humos, humedad y residuos que son propios de un taller de mecánica.
- Dotar al laboratorio con mínimo dos mesas de trabajo para el desarme y manipulación de las bombas; equipadas con prensas para la sujeción de los elementos.
- Dotar al laboratorio con el juego de herramientas necesarias; llaves, pinzas, extractores, mazos, punzones, etc., para realizar los despieces de las bombas que se pueden inspeccionar en los bancos.
- Comprar un probador manual para inyectores mecánicos.
- Comprar o fabricar las bridas y acoples con la geometría de cada bomba, para que coincidan con el montaje en el cabezal de arrastre del banco TST-C.
- Realizar una limpieza general a los bancos después de realizar las pruebas y encenderlos periódicamente para evitar que piezas móviles se deterioren por falta de uso.

- Inspeccionar el estado del aceite de prueba, reemplazarlo junto con los filtros de cartuchos recambiables cuando presenten un aspecto oxidado y contaminado.
- Comprar los accesorios correspondientes al banco TST-C para la inspección de otros componentes como: bombas electrónicas, sistemas de riel común, sistema VP44, etc.
- Adquirir la licencia para el uso de las tablas de calibración y construir sus propias tablas de pruebas a partir de estas.
- Llevar control de las calibraciones para estimar costos reales del mantenimiento y uso de los bancos.

## BIBLIOGRAFIA

BOSCH GMBH. Robert Diesel Distributor Fuel Injection Pumps, Technical instruction / Bosch. GmbH, Automotive Avermarket Abt., Helmut Tschöke (Maschinenbauingenieur.), Robert Bosch GmbH (Stuttgart) Edición 4. Editor Robert Bosch GmbH, Automotive Avermarket Abt., ISBN3934584381, 9783934584389 p.63 1999

BOSCH. Service. Manual de servicio DENSO (reparación), p.43.  
[http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste\\_en\\_banco.pdf](http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/documentos/Ajuste_en_banco.pdf)

BOSCH. Sistemas de inyección diésel BOSCH [en línea] [citado 16 de febrero de 2015] disponible en:  
[http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF\\_es/Diesel/Sistemas\\_de\\_Inyecci%C3%B3n\\_Diesel.pdf](http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Diesel/Sistemas_de_Inyecci%C3%B3n_Diesel.pdf)

BOSCH. Estructura de las bombas [en línea] [Citado 16 de Febrero de 2015] Disponible en: <http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/cursos/bombas1/estructuradelabombaenlinea.html>

CONSTRUVICOL S.A. pública de la empresa. [en línea]. "[citado 15 de febrero de 2015] disponible en: [<http://www.construvicol.com/>]

CONSTRUVICOL S.A. Red de comunicación interna de la empresa. [en línea]. "[citado 15 de febrero de 2015] disponible en: (<http://www.intranet.construvicol.com/>).

CUMMINS ENGINE COMPANY. . Manual de Diagnóstico y Reparación Motores Cummins Serie N14 -pdf- P 6-13. 2001. [en línea] [Citado 16 de Febrero de 2015] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/50122603/Cummins-Manual-de-Diagnostico-y-Reparacion-de-Motores-Serie-14#scribd>.

DIESEL SERVICE PARTS N14 Cummins Quik Sheet. [en línea] [Citado 19 de marzo de 2015] Disponible en: <http://www.diesel-service-parts.com/n14-cummins.html>

DIESEL: Engine systems diesel engine analyst – full. Published on Feb 04, p 85. 2013 [en línea] [Citado 18 de febrero de 2015] disponible en: <http://www.slideshare.net/wilbort/engine-systems-diesel-engine-analyst-full>

FRANK DeLUCA, Chief Fuel Injection Engineer, of American Bosch Arma Corporation pdf history of fuel injection [en línea] [citado 16 de febrero de 2015] disponible en: <http://www.disa.it/pdf/01HystoryOfDieselFuellnj.pdf>

GERSHON.UCOZ. Systems Operation 3126B and 3126E CATERPILLAR Truck Engine. Fuel System. Publication Date -01/02/2006. [en Línea] [Citado 17 de Febrero de 2015]. [http://gershon.ucoz.com/ISUZU/HEUI/HEUI\\_Systems\\_Operation\\_3126.pdf](http://gershon.ucoz.com/ISUZU/HEUI/HEUI_Systems_Operation_3126.pdf)

MESNY Marcelo. Manual de inyección diesel. Edición: tercera. -- impreso en buenos aires, librería y editorial ALSINA, 1968 p. 68

PÉREZ BELLÓ. Miguel Ángel. Sistemas Auxiliares Del Motor. Editorial Paraninfo,. ISBN8497328639, 9788497328630 2011. p.245

REYES ROJAS. Leonardo Iván. Automatismo Industrial. El Variador de Frecuencia. 21 Noviembre, 2014.

STUTTIGART Ernest Ritter”; BOSCH GMBH robert, “bombas de inyección diésel [en línea] [citado 16 de febrero de 2015] disponible en: instrucción técnica / 2000.

## ANEXOS

### Anexo A. Tabla de pruebas de inyectores HEUI

#### Injector test data of HUS-1001 test bench

Test 3 injectors P/N: : BJ1830573, AA1821836 and BF1830148C2. Test fuel temperature  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Simulating 4 kinds of conditions of engine: start, idle, medium load, full load to measure the cycle fuel injection quantity of the three injectors' fuel injection quantity.

- Fuel Pressure=50psi, Hydraulic Pressure=800psi,

Injection Frequency=200, Test Count=200

Pulse Width (ms)	BJ1830573		BF1830148C2		AA1821836	
	measured value (mL)	Cycle fuel Injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel Injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel Injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)
4.2	4.6	23.0	9.0	45.0	11.0	55.0
4.5	7.0	35.0	11.2	56.0	11.8	59.0

- Fuel Pressure=50psi, Hydraulic Pressure=1000psi,

Injection Frequency=400, Test Count=500

Pulse Width (ms)	BJ1830573		BF1830148C2		AA1821836	
	measured value (mL)	Cycle fuel Injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel Injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel Injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)
1.6	7.8	15.6	8.2	16.4	11.6	23.2
2.0	9.8	19.6	9.0	18.0	15.0	30.0
2.2	11.4	22.8	11.2	22.4	16.0	32.0

- Fuel Pressure=50psi, Hydraulic Pressure=1700psi,

Injection Frequency=1000, Test Count=500

Pulse Width (ms)	BJ1830573		BF1830148C2		AA1821836	
	measured value (mL)	Cycle fuel injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)
2.6	26.2	52.4	26.0	52.0	26.0	52.0
2.8	28.0	56.0	30.0	60.0	27.8	55.6

- Fuel Pressure=50psi, Hydraulic Pressure=2500psi,

Injection Frequency=1300, Test Count=200

Pulse Width (ms)	BJ1830573		BF1830148C2		AA1821836	
	measured value (mL)	Cycle fuel injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)	measured value (mL)	Cycle fuel injection quantity (mm <sup>3</sup> /cycle)
2.3	18.2	91.0	22.0	110.0	10.0	50.0
2.5	19.8	99.0	24.8	124.0	11.0	55.0

## Anexo B. Tabla de pruebas inyector CUMMINS N14

### EUI for Cummins N14

Part Number: 3411761X

Test Oil: Diesel Fuel

Test Date: June 11, 2009

Fuel Injection Quantity, mm<sup>3</sup>/cycle

PW (°CA) Cam Speed	10	20	30	40	50	60	70	80	90
500rpm	12	28	60	78	115	140	170		
800rpm		10	25	40	56	73	91	110	130

PW (Pulse Width) in Crank Angle Degrees

#### Note:

1. Pay attention on the connection of test oil inlet and return
2. Purge trapped air thoroughly before start to measure fuel injection

