

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA: MECÁNICA AUTOMOTRIZ



INFORME DE PASANTÍA
Nivel: Técnico Superior

**MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DEL MOTOR 3066T DIÉSEL
CATERPILLAR CON ACCIONAMIENTO ELECTRÓNICO,
APLICADO EN LA BOMBA RSV, TIPO A**

Realizado en la Empresa de Mantenimiento y Reparaciones
de Sistemas de Inyección “Diésel Alex”

Postulante: *Univ. Herminio Alejandro Choque Choqueticlla*

Tutor: *Lic. David Marcelo Pacheco Foronda*

La Paz – Bolivia, 2021

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

INFORME DE PASANTÍA REALIZADO EN EL CENTRO DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE INYECCIÓN “DIÉSEL ALEX”

Presentado por: *Univ. Herminio Alejandro Choque Choqueticlla*

REQUISITOS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE TÉCNICO SUPERIOR

Director de carrera:

Lic. Cecilio Ticona Nina

Tribunal:

M.Sc. Edgar Quiroga Villca

Ing. Juan Félix Quispe Medrano

Lic. Victor Paz Huanca

Dedicatoria

A mi familia, por el apoyo incondicional, en los buenos y malos momentos que siempre recibí y recibo en todo momento de mi vida.

Herminio Alejandro Choque Choqueticlla

Agradecimientos

Mi agradecimiento al Lic. David Marcelo Pacheco Foronda por ser el artífice del presente y a todos los docentes de la carrera Mecánica Automotriz por la dedicación, paciencia y conocimientos transmitidos.

El más sincero agradecimiento a la Facultad de Tecnología por haber tenido la suerte de pertenecer a la institución más grande de Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.

Herminio Alejandro Choque Choqueticlla

Resumen

Hoy en día existe una gran variedad de bombas de inyección diésel de diferente procedencia, con el devenir del tiempo las mismas presentan diferentes desperfectos de entrega de caudal de combustible, inyectores obstruidos o piezas con desgaste excesivo, lo que corresponde es realizar el mantenimiento según presente el caso, lamentablemente existe poca información en nuestro medio para el trabajo de diagnóstico de calibración, ajuste de caudal y presión de combustible, lo cual ha generado, la necesidad de recopilar datos de pruebas de campo, que sirvan en el futuro de parámetro referencial, para una correcta dosificación de combustible y se pueda brindar un servicio técnico adecuado.

Una vez finalizada la pasantía se realiza el presente informe sobre mantenimiento del sistema de inyección del motor 3066T diésel Caterpillar, con accionamiento electrónico, aplicado en la bomba RSV, tipo A.

Palabras clave: inyección, precisión, caudal, presión, combustión.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	III
Agradecimiento.....	IV
Resumen	V
Índice de contenidos	VI
Índice de tablas	IX
Índice de figuras	X
Índice de abreviaturas.....	XII
Glosario.....	XIII
Índice de anexos.....	XIV
CAPÍTULO I	1
Introducción	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 Justificación.....	2
Justificación Técnica.....	2
Justificación Económica.....	2
Justificación ambiental.....	3
CAPÍTULO II	4
Descripción de la Empresa Diésel Alex	4
2.1. Antecedentes de la empresa	4
2.1.1 Organigrama de la empresa	4
2.1.2. Condiciones de trabajo de la empresa.....	5
2.2 Equipos de diagnóstico de la empresa.....	7
2.2.1 Banco de pruebas EPS607 Bosch.....	7

2.2.2	Probador de inyectores mecánicos	9
2.2.3	Interfaz de comunicación Com Adapter III	9
2.2.4	Generador de pulsos common rail.....	10
2.2.5	Características de la pasantía.....	11
CAPÍTULO III		12
Alcances		12
3.1	Características referenciales.....	12
3.2	Aportes realizados al taller durante la pasantía	14
CAPÍTULO IV		15
Marco Teórico.....		15
4.1	Generalidades	15
4.2	La bomba de Inyección diésel.....	16
4.3	Tipos de Bomba de Inyección.....	17
4.4	Bomba de Inyección en Línea.....	17
4.4.1.	Elementos de la bomba de inyección lineal	18
4.4.2	Fases de Alimentación de Combustible	19
4.4.3	Regulador de la Bomba de Inyección Lineal	20
4.4.4	Bomba de alimentación de combustible.....	24
4.5	La bomba rotativa	25
4.5.1.	Funcionamiento	26
4.6.	Inyector Diésel	28
4.6.1.	Función de los inyectores	28
4.6.2.	Tipos de Inyectores.....	29
4.6.3.	Inyector de Espiga o Tetón.....	30
4.6.4.	Inyector de Orificio	30

CAPÍTULO V	32
Marco Práctico	32
5.1. Características y aplicación específica.....	32
5.1.1 Bomba de inyección diésel con mando electrónico	33
5.1.2 Recepción de la bomba de inyección	35
5.2 Diagnóstico al sistema de inyección diésel	36
5.2.1 Limpieza y fumigado	36
5.2.2 Desarmado e inspección de componentes	37
5.2.3 Armado de la bomba de inyección	42
5.3. Análisis de resultados	45
5.4. Ajuste y calibración de la bomba de inyección diésel.....	46
5.5. Ensayo y generación de tablas de calibración	47
5.6 Parámetros de entrega de combustible caudal/rpm	51
5.7. Inyector del sistema de inyección tipo A, motor 3066T	52
CAPÍTULO VI	55
Estadística de Servicios Técnicos Realizados	55
6.1. Detalle estadístico de trabajos realizados	55
6.1.1. Servicios técnicos realizados por marca	56
CAPÍTULO VII	57
Conclusiones y Sugerencias	57
7.1. Conclusiones	57
7.2. Sugerencias.....	57
Referencias bibliográficas	59
Anexos	60

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Características técnicas de la bomba de inyección
- Tabla 2. Descripción del ensayo
- Tabla 3. Ensayo de caudal de entrega de combustible
- Tabla 4. Entrega secuencial de caudal (cm³) vs. (rpm.), motor 3304 (Caterpillar)
- Tabla 5. Corte de suministro de caudal, ejecutado por el regulador
- Tabla 6. Resumen de mantenimiento al sistema de inyección diésel
- Tabla 7. Detalle de trabajos realizados
- Tabla 8. Resumen de servicios técnicos por marcas
- Tabla 9. Frecuencia de servicios técnicos realizados
- Tabla 10. Porcentaje de trabajos realizados

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Organigrama de la empresa “Diésel Alex”
- Figura 2. Plano de ambientes de la empresa “Diésel Alex”
- Figura 3. Banco de pruebas Bosch EPS607
- Figura 4. Interfaz Com Adapter III
- Figura 5. Generador de pulsos de inyectores common rail
- Figura 6. Sistema de Inyección de Combustible
- Figura 7. Bomba de inyección en línea tipo news scroll, Caterpillar (6 salidas)
- Figura 8. Operación del elemento (plunjer) de bomba de inyección diésel
- Figura 9. Fases de funcionamiento del émbolo principal
- Figura 10. Mapa característico de un regulador de Máxima velocidad
- Figura 11. Curva de comportamiento del regulador
- Figura 12. Código de identificación del regulador
- Figura 13. Mecanismo de regulación velocidad alta/baja
- Figura 14. Bomba de alimentación de émbolo
- Figura 15. Bomba de inyección rotativa, electrónica VP30
- Figura 16. Designación técnica del inyector diésel
- Figura 17. Precisión simétrica de la tobera de orificios
- Figura 18. Inyector A – Tetón cilíndrico, Inyector B – Tetón cónico.
- Figura 19. Inyector A – con orificio central Inyector B – con orificios esféricos.
- Figura 20. Motor Mitsubishi, 3066T (Caterpillar)
- Figura 21. Monitor de control excavadora 320D2, 2017
- Figura 22. Mando electrónico (gobernador)
- Figura 23. Bomba de inyección tipo A, Caterpillar 320C

- Figura 24. Limpieza de la bomba de inyección
- Figura 25. Proceso de desarmado
- Figura 26. Extracción del eje de levas
- Figura 27. Medición del recorrido de la cremallera
- Figura 28. Regulador RSV de bomba de inyección
- Figura 29. Revisión del contrapeso del regulador
- Figura 30. Superficie de elemento con desgaste
- Figura 31. Tobera de inyector en mantenimiento
- Figura 32. Bomba de inyección tipo A
- Figura 33. Placa de identificación de la bomba de inyección, tipo A
- Figura 34. Datos técnicos de identificación del regulador
- Figura 35. Volumen de entrega de combustible deficiente
- Figura 36. Entrega de combustible anormal
- Figura 37. Inicio de pruebas, bomba de inyección tipo A
- Figura 38. Entrega de caudal para el encendido
- Figura 39. Entrega de caudal para el régimen de ralentí
- Figura 40. Entrega de caudal para el régimen de plena carga
- Figura 41. Pulverización de combustible inyector DLLA150PN315
- Figura 42. Flujograma de mantenimiento del sistema de inyección diésel

LISTA DE ABREVIATURAS

RPM	Revoluciones por minuto
PWM	Modulación de ancho de pulso
MCI	Motor de combustión interna
VE	Bomba de inyección rotativa (escrito en Alemán)
KW	Kilo watt
V	Voltaje
ET	Técnico electrónico
ECM	Modulo de control electrónico
CC	Centímetros cúbicos
CRI	Inyección common rail
EUI	Inyector unitario electrónico
HEUI	Inyector unitario electro-hidráulico
CO	Monóxido de carbono

GLOSARIO

Inyector	Componente que tiene la función de pulverizar el combustible.
Common rail	Sistema de inyección de alta presión riel común.
EUI	Inyector bomba denominado, inyector unitario electrónico.
HEUI	Inyector bomba denominado, inyector unitario electrónico hidráulico.
Intercooler	Intercambiador (radiador), aire-aire o aire-agua, que se encarga de enfriar el aire comprimido por el turbocompresor de un motor de combustión interna.
NO	Óxido de nitrógeno.
NO ₂	Bióxido de nitrógeno.
NO _x	Óxidos de nitrógeno.
PWM	La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica.
Software	Programa computacional dirigido a una acción.
Combustión	Reacción termoquímica muy rápida.
CRIN I	Inyector common rail para vehículos livianos.
CRIN II	Inyector common rail para vehículos pesados.
RSV	Regulador de aceleración automático.

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A: Ajuste de válvula motor 3056E.
- Anexo B: Diagnóstico con interfaz de comunicación (com adapter III).
- Anexo C: Combustible contaminado.
- Anexo D: Excavadora Caterpillar 320C con motor Mitsubishi.
- Anexo E: Partes del elemento de la bomba de inyección lineal.
- Anexo F: Normas de ensayo-A, Volvo motor TD122F (F12).
- Anexo G: Normas de ensayo-B, Volvo TD122F (F12).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El sistema de inyección diésel de un automóvil es considerado la parte más importante de un motor, ya que sin alimentación de combustible no marcha, este sistema requiere de un servicio técnico especializado no muy común en nuestro medio principalmente por los altos costos que implica conocer su funcionamiento y necesariamente contar con equipos de precisión (banco de pruebas, probador de inyectores), para realizar el diagnóstico del sistema de inyección relativamente alto.

Este conjunto de componentes tiene la finalidad de introducir combustible a alta presión en las cámaras de combustión de los distintos cilindros del motor. La cantidad de combustible a inyectar en cada ciclo de funcionamiento depende mucho de las características del mismo, del régimen de funcionamiento, de una elevada presión interna en el interior de la cámara, de la necesidad de conseguir una buena mezcla de combustible con el aire para que la combustión sea completa.

De esta manera, se plantea el objetivo principal del informe de pasantía, donde se busca optimizar cada uno de los procesos que intervienen en la prestación de servicios y reparaciones de sistemas de inyección, a través de los conocimientos adquiridos y las actividades principales que hacen parte del servicio técnico al automotor dentro y fuera del taller.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Realizar mantenimiento al sistema de inyección del motor diésel Caterpillar 3066T con accionamiento electrónico. Aplicando en la bomba RSV, tipo A.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Describir la operación del sistema de inyección diésel.
- Analizar el flujo másico de combustible.
- Determinar el procedimiento de calibración de la bomba inyectora del motor 3066T.
- Determinación de los parámetros de entrega de combustible caudal-revoluciones por minuto.

1.2 Justificación

Justificación Técnica

Todas las bombas de inyección e inyectores que llegan a nuestro medio necesariamente deben ser ajustados y calibrados, para mantener los niveles de la dosificación estequiométrica de combinación de aire-combustible. Por efectos de la presión atmosférica y la topografía de nuestro medio se presenta una alimentación de combustible rica. Para realizar este trabajo lamentablemente no se cuenta con valores específicos de la marca Caterpillar, debido a esta deficiencia de información técnica se procede a realizar pruebas de campo a diferentes regímenes de funcionamiento del motor hasta lograr un aceptable rendimiento de trabajo, posteriormente para cuantificar el nivel de caudal entregado se recurre a la operación del banco de pruebas donde se obtiene parámetros referenciales de calibración.

Justificación Económica

En el tiempo transcurrido de trabajo se ha podido advertir que aproximadamente un 70% de desperfectos son ocasionados por negligencia o desconocimiento del propietario o

persona encargada, por esta razón se hace necesario facilitar el correcto mantenimiento preventivo correctivo para incrementar la eficiencia de un vehículo automotor y evitar de esta manera paradas no programadas con altos costos de reparación que son erogados en un tiempo corto no establecido que oscilan en motores pequeños hasta aproximadamente Bs.3400 y para los motores pesados Bs.6800, según sus características.

Justificación ambiental

Debido al incremento del parque automotor en nuestro país, también se han incrementado las emisiones de CO, SO₂, HC, NO_x, y otros gases contaminantes a la atmósfera, lo que hace necesario incentivar a la conservación de nuestro medio ambiente, en aras del buen vivir, con dosificaciones homogéneas de combustible en la cámara de combustión del motor diésel que se consigue con un mantenimiento preventivo y correctivo oportuno como el que se ofrece en el centro de mantenimiento de sistemas de inyección "Diesel Alex", con la finalidad de preservar el equilibrio de nuestro ecosistema que va erosionando con el devenir del tiempo.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA DIÉSEL ALEX

2.1. Antecedentes de la empresa

La Pasantía fue realizada en la empresa de Mantenimiento y reparaciones de sistemas de inyección de motores “DIESEL ALEX”, el cual está ubicado en la Zona Villa Dolores F, C/B Nro.100, El Alto.

El taller cuenta con ocho años de experiencia a cargo de su Gerente Propietaria Sra. Matilde P. Callisaya Chávez, Establecida legalmente en el País.

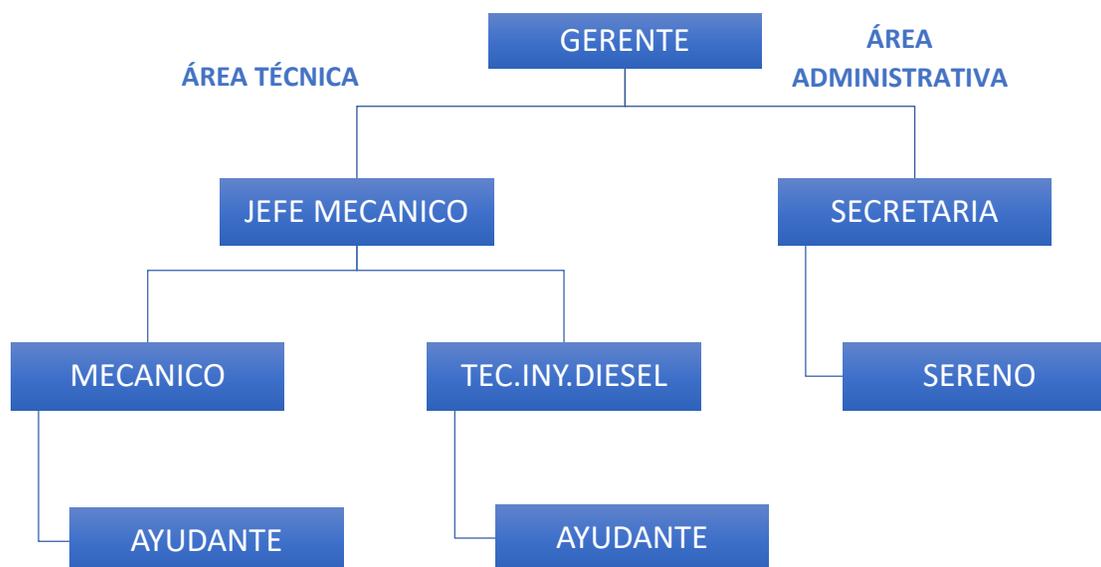
En el taller se realiza trabajos específicamente de mantenimiento y reparaciones de sistemas de inyección diésel de varias marcas, cuenta con el apoyo de una empresa proveedora de repuestos originales y alternativos en especial para sistemas de inyección diésel. También cuentan con un banco de pruebas Bosch EPS-607, probador de Inyectores diésel zexel, interfaz para diagnóstico electrónico Caterpillar, probador de inyectores, generador de señales para inyectores electrónicos common rail, microscopio digital, contador de revoluciones por minuto, entre los más importantes.

El taller cuenta con una infraestructura por mejorar con capacidad de recibir diez vehículos pesados y cuenta con siete empleados.

2.1.1 Organigrama de la empresa

En el gráfico se puede observar el personal con que cuenta el taller a través del siguiente organigrama que se expone, correspondiente a la empresa.

Figura 1:
Organigrama de la empresa "Diésel Alex"



Fuente: Empresa Diésel Alex

2.1.2. Condiciones de trabajo de la empresa

Toda maquinaria o bomba de inyección que ingresa al taller se realiza una hoja de recepción. Donde se detalla un inventario de los accesorios, tipo y marca, estado externo del mismo, consultando al propietario el defecto o problema que presenta el equipo.

Posterior al diagnóstico de la bomba de inyección, pasa al encargado de mantenimiento para que asigne el trabajo a realizar con una instrucción verbal.

Con los instrumentos y herramientas necesarias se procede al mantenimiento o reparación con ayuda de manuales de servicio técnico.

Finalizado el mantenimiento o reparación del vehículo este es nuevamente revisado por el mecánico encargado con la prueba final de rutina. Para de esta manera verificar los resultados y el funcionamiento óptimo del vehículo.

Los trabajos que se realizan en el taller, lamentablemente no cuentan con un control de calidad, pero el taller garantiza los trabajos que se realizan. Se aceptan reclamos posteriores a la reparación, siempre y cuando el desperfecto técnico sea el mismo trabajo que se realizó.

El mecánico es responsable del vehículo y servicio técnico asignado hasta el día de entrega a su propietario.

Luego del proceso de diagnóstico o reparación del sistema de inyección se estima un tiempo determinado para la entrega al cliente incluyendo repuestos e insumos que no se cuentan en taller, por lo tanto, se adiciona el tiempo que tomara conseguir dichos requerimientos que se establece en la orden de trabajo.

Además de manuales de datos técnicos convencionales (no profesionales) de referencia, el taller recurre a datos de calibración de tipo experimental, con especificaciones mecánicas y de circuitos eléctricos.

Figura 2

Plano de los ambientes de la empresa "Diesel Alex".



Fuente: Elaboración propia.

2.2 Equipos de diagnóstico de la empresa

Para el servicio técnico que se realiza en la atención de sistemas de inyección diésel, se cuenta con los siguientes equipos:

- Banco de pruebas EPS607 Bosch
- Probador de inyectores mecánicos Zexel
- Interfaz de comunicación (com adapter III)
- Generador de pulsos common rail

2.2.1 Banco de pruebas EPS607 Bosch

Este equipo de precisión se utiliza para el diagnóstico de bombas de inyección con una potencia de 7.5 KW, el mismo es un sistema formado por una serie de elementos que permiten la simulación del comportamiento de la bomba de inyección en el motor y sus

características operativas en unas condiciones controladas, utilizando para ello una serie de instrumentos de control y otros de medida como es el sistema de control de inyección programado con normas de calibración Bosch, manómetro de presión de combustible, temperatura, presión barométrica y los componentes como son las probetas de entrega de caudal de combustible de 260 ml., además de una fuente de tensión 12 y 24V., este equipo realiza las siguientes pruebas:

- Control de eficiencia de la bomba de inyección.
- Entrega de caudal de combustible a diferentes frecuencias de rotación.
- Control del regulador de revoluciones máximas y mínimas.
- Operación y funcionabilidad de sus componentes.
- Control de temperatura de trabajo.
- Verificación de las válvulas de presión de retorno de combustible.

Figura 3

Banco de pruebas Bosch EPS607



Fuente: Empresa "Diésel Alex"

2.2.2 Probador de inyectores mecánicos

El probador de inyectores marca Zexel es un equipo de precisión de accionamiento manual encargado de elevar la presión del combustible diésel hasta 350 Kgf/cm² y este puede ser atomizado en microgotas de combustible y posteriormente pasar a una fase gaseosa, utilizado para el diagnóstico, mantenimiento y reparación de inyectores de motores livianos, medianos y pesados.

2.2.3 Interfaz de comunicación Com Adapter III

Este escáner-interface de diagnóstico, es un dispositivo para uso exclusivo en equipos Caterpillar.

Este es el único dispositivo de comunicación recomendado para equipos Caterpillar y transmisión de datos (Data link) que le permite comunicarse efectivamente entre módulos de comunicación duales.

Adicionalmente este equipo precisa la utilización de un software denominado ET (Electronic Technician), y una PC con Microsoft Windows para iniciar el proceso de diagnóstico de mantenimiento, esta función es necesaria para las diferentes funciones ET (Técnico electrónico), El mismo se comunica con el módulo Electrónico de Control (ECM) a través del bus de comunicación de datos permitiendo el diagnóstico de problemas existentes y borrado de códigos de falla anteriores, configurar el producto y obtener datos para su posterior análisis.

Con la herramienta de servicio se pueden realizar los siguientes diagnósticos:

- Observar los diagnósticos activos y hechos ocurridos anteriormente.
- Datos de eventos irregulares ocurridos que fueron registrados por el ECM.
- Seleccionar un grupo de parámetros de operación (temperaturas, presión y otros).

- Simultáneamente grabar y guardar información de diferentes sistemas graficar un grupo de parámetros.
- Cambiar las configuraciones del ECM. (transmisión, velocidad hidráulica del ventilador, adelantar o retrasar el punto de inyección).
- Realizar pruebas de diagnóstico.
- Realizar calibraciones.
- Diagnóstico en tiempo real (data logger).
- Imprimir reportes y resultados de diagnóstico.

Figura 4
Interfaz Com Adapter III



Fuente: Empresa Diésel Alex

2.2.4 Generador de pulsos common rail

El generador de pulsos es utilizado para el diagnóstico de inyectores electromecánicos Bosch, denso, piezoeléctrico, frecuencia de la señal, caudal de entrega y retorno, modulación de ancho de pulso y toda la variedad de inyectores CRIN II, de equipos pesados.

Figura 5*Generador de pulsos de inyectores common rail***Fuente:** Empresa Diésel Alex

2.2.5 Características de la pasantía

La pasantía fue realizada del 2 de mayo al 20 de agosto del 2019, transcurriendo un lapso de 480 hrs. Efectivas, (tres meses), en el horario de trabajo establecido por la empresa, que fue de:

Lunes a viernes 8:30 a 12:30 y 14:00 a 18:00 p.m.

Sábados 8:30 a 12:30 p.m.

A pesar de estar fijos estos horarios, algunos días ocasionalmente se presentaron trabajos adicionales, extra fuera de horario generalmente auxilio mecánico a carretera, inclusive en días feriados de esta manera cumplir con el requerimiento de los clientes.

Luego de adquirir experiencia en sistemas de inyección diésel. En todo este tiempo fui designado como técnico de la empresa, realizando reparaciones técnicas en todos los ámbitos de operación que requiere los diferentes trabajos que se presentan habitualmente.

Todos los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo se realizaron de acuerdo a procedimientos establecidos en la empresa, basada en la experiencia adquirida de reparación de inyectores y bombas de inyección diésel, principalmente con la dosificación homogénea que difiere y no se cumple a cabalidad con los datos técnicos que llegan de fábrica.

ALCANCES

3.1. Características referenciales

El propósito general de este informe de pasantía es la familiarización con los sistemas de inyección diésel, si bien es cierto que cada fabricante realiza sus diseños particulares, pero siempre manteniendo la misma base de fabricación de motores que pueden ayudar de una forma general o por lo menos encarar el problema a solucionar.

Así mismo se relacionan con aspectos electromecánicos que están íntimamente ligados al proceso de mejorar el ciclo de combustión ya que el desarrollo energético que se logró en estos motores depende fuertemente de los parámetros fundamentales que caracterizan la inyección del combustible. Es necesario tener presente que en los motores diésel se quema una mezcla heterogénea que comienza a formarse dentro del cilindro desde el momento que penetra la primera gota de combustible, pero que una vez producido el autoencendido trata muy rápidamente de convertirse en una mezcla homogénea en el ciclo inmediato de combustión, denominado inicio del proceso de oxidación en el interior de la cámara de combustión.

También el presente informe pretende incentivar a nuestra comunidad universitaria, como base de aporte para el desarrollo de nuevos emprendimientos de tecnologías automotrices más amplias vinculadas al mantenimiento y reparación de otros sistemas de inyección electrónicos en motores diésel, que también implementan innovaciones como la transmisión electrónica automática, los sistemas de control dinámico de estabilidad ABS, ubicación y rendimiento GPS, entre otros.

En los motores diésel con inyección mecánica. La totalidad de los sistemas de inyección diésel, mayores a 3000 cm³. Se encuentran desarrollando su trabajo en nuestro

medio satisfactoriamente previo ajuste de entrega de combustible en banco de pruebas adecuados a nuestro medio.

En los sistemas, con gestión electrónica diésel como ser:

- VP30 (Caterpillar).
- VP36-37 (motores livianos).
- Common rail (Caterpillar).
- EUI (Caterpillar, Volvo).
- HEUI (Caterpillar).

De igual manera presentan problemas de rendimiento y potencia originados por la topografía de nuestro medio (altura aproximada en la Ceja El Alto, 4060 msnm.) ocasionando un desfase estequiométrico en la combustión del motor, sistema hidráulico, sistema de refrigeración, pero los mismos pasan prácticamente desapercibidos por tener un sistema de inyección electrónico altamente eficiente en todos los regímenes de funcionamiento del motor diésel.

Los sistemas de inyección de combustible mecánicos y con gestión electrónica diésel son muy poco difundidos en nuestro medio por el elevado costo, tratados con restricción y aparente confidencialidad por las empresas importadoras de equipos pesados que contamos en la ciudad de El Alto, ocasionando un retraso y deficiencia en el conocimiento técnico y servicios que se debe contar necesariamente.

Esta desventaja fue un motivo para recurrir a otro tipo de información como la recopilación de parámetros propios experimentales de calibración de entrega de caudal de combustible y parámetros nuevos de presión de inyección de los inyectores adecuados a nuestro medio.

Con el aumento considerable del parque automotriz en nuestro país, se estima que aumentará la demanda de profesionales técnicos en mecánica automotriz, con conocimientos de mecánica, electricidad, electrónica, informática y programación de software aplicados a los automotores.

Por este motivo se presenta este informe técnico, que tiene la finalidad de aportar con un granito de arena en nuestra formación profesional y al bien estar de nuestra comunidad en su conjunto respecto a sistemas de inyección diésel.

3.2 Aportes realizados al taller durante la pasantía

Los aportes que se realizaron de manera constante se pueden resumir en los siguientes aspectos que hacen principalmente a la confianza que se debe inducir al cliente una vez que ingrese a las instalaciones.

- Relaciones de calidad y calidez con el cliente.
- Motivar y concientizar a dar mantenimiento constante a su vehículo.
- Encarar la variedad de trabajos según protocolo establecido en manuales técnicos del fabricante.
- Exponer opciones para que el cliente ahorre dinero, sin comprometer la calidad del trabajo o la seguridad del cliente.
- Estar siempre disponible para todo servicio técnico.

MARCO TEÓRICO

4.1. Generalidades

El sistema de inyección diésel tiene como finalidad, introducir el combustible a alta presión en estado casi gaseoso, en la cámara de combustión de los distintos cilindros del motor, este ciclo se realiza en una cantidad adecuada en el momento preciso y con las condiciones requeridas para una perfecta combustión.

La cantidad de combustible a inyectar en cada ciclo de funcionamiento del motor depende mucho de las características del régimen de funcionamiento a una presión interna elevada en el interior de la cámara de combustión y la necesidad de conseguir una buena mezcla de combustible con el aire para que la combustión sea teóricamente completa.

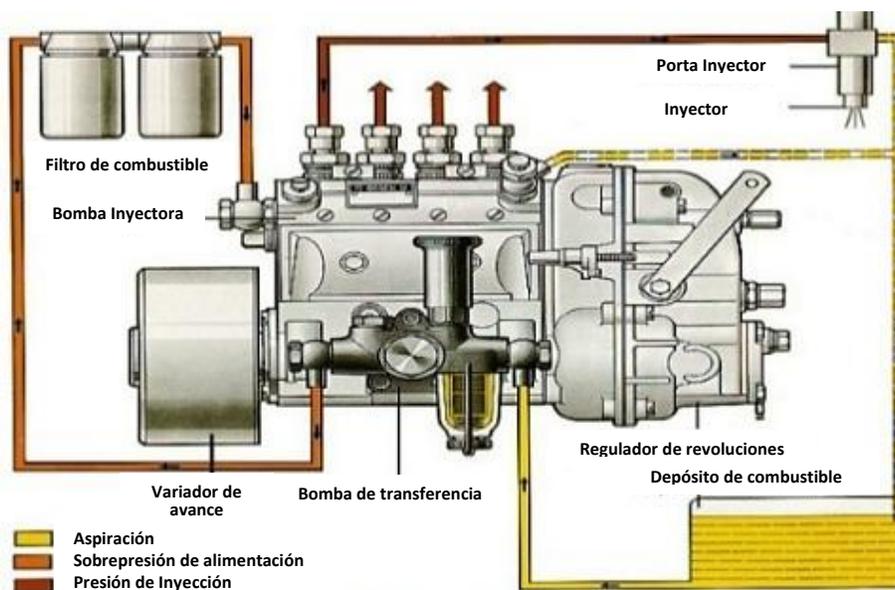
La finalidad del sistema de inyección de combustible se alcanza con el trabajo realizado por todo el sistema, el mismo que va desde el depósito de combustible hasta concluir el ciclo en el inyector, en esta operación se deben considerar los tramos que son el sistema de alta presión, que a su vez está formado también por el sistema de baja presión que es el que suministra el combustible del depósito a la bomba de inyección.

El aire se comprime a una elevada presión, aproximadamente de 26 a 29 bar, en el interior de la cámara de combustión, de este modo alcanza una temperatura rápida y adecuada para la inflamación del combustible (aproximadamente 500-600°C), introducido en la cámara de combustión a una presión elevada (150 a 305 bar en sistemas mecánicos y 1800-2000 bar aproximadamente en sistemas con inyección electrónica), este inyector está debidamente calibrado para que la cantidad másica de combustible sea entregado en el momento preciso que debe ser inyectado, obteniendo una mezcla adecuada y por consiguiente una buena combustión del motor.

Dentro de este sistema de alimentación existen varios componentes que hacen posible todo lo anteriormente citado:

Bomba de inyección, filtros de aire y combustible, bomba de transferencia de combustible, tuberías, depósito, inyectores, cable de acelerador, bomba de cebado entre los más importantes.

Figura 6
Sistema de Inyección de Combustible



Fuente: Slideshare.net

4.2 La bomba de Inyección diésel

La bomba de inyección es uno de los componentes más importantes considerado el corazón del motor diésel que basa su principio de funcionamiento en el desplazamiento de un pistón dentro de un cilindro (bomba volumétrica) y tiene la misión de impulsar, en el momento preciso la cantidad de combustible regulada y controlada hacia la cámara de combustión con una presión necesariamente mayor a la del inyector, para lograr una buena pulverización.

Las funciones más importantes de la bomba de inyección son las siguientes:

- Exceso de caudal en el ciclo de encendido (en todas las bombas de inyección).
- Determinar y regular la cantidad de combustible que el motor necesita en un instante. determinado de acuerdo a las condiciones de funcionamiento, esta misión corresponde al regulador, que es un órgano anexo a la bomba.
- Medir la cantidad volumétrica de combustible necesaria con exactitud.
- Generar la alta presión y el caudal preciso de combustible.
- Control de velocidades máximas y mínimas.
- Dosificación homogénea a los cilindros del motor.
- Funcionamiento y operación coordinada de todos los componentes de la bomba de inyección.

4.3 Tipos de Bomba de Inyección

Existen principalmente dos tipos de bombas de inyección diésel:

- Bombas de inyección en línea (tipo A, P...).
- Bombas de inyección por distribuidor rotativo (VE, CAV, VA, Stanadyne...).

4.4 Bomba de Inyección en Línea

Las bombas de inyección en línea basan su principio de funcionamiento en el desplazamiento de un émbolo de carrera total y movimiento rotativo constante de trabajo regulable.

El control cronológico de la alimentación de combustible se realiza por el movimiento del árbol de levas que juntamente con el resto de componentes forman el grupo de inyección y están constituidos por:

- La bomba de inyección que se encarga de generar la alta presión.

- El regulador mecánico que se encarga de regular el regimen del motor.
- El variador de avance regula el comienzo de la inyección.
- La bomba de alimentación mecánica que se encarga de aspirar e impulsar el combustible desde el depósito hacia la cámara de la bomba de inyección.

Figura 7

Bomba de inyección en línea tipo News Scroll, Caterpillar (4 salidas)



Fuente: Elaboración propia

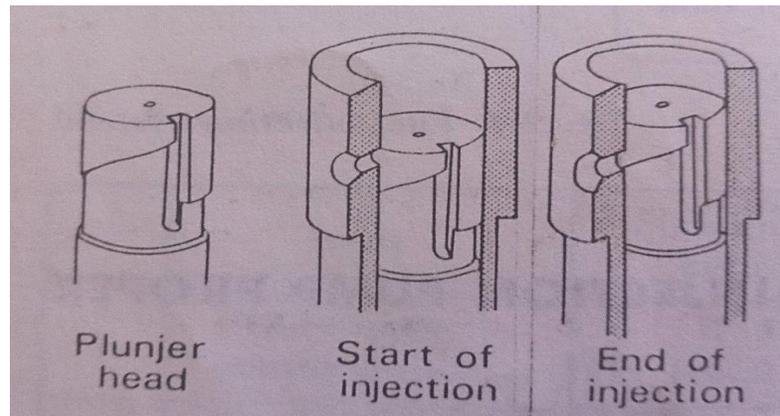
4.4.1. Elementos de la bomba de inyección lineal

Se denominan así al émbolo que lleva al interior del pistón que contiene el cuerpo de la bomba de inyección, la misma se caracteriza porque el número de elementos es igual al número de cilindros que contiene el motor.

Por los finisimos ajustes y estrechos huelgos entre el conjunto émbolo-barril se da alrededor de 0.1 a 0.2 μm (micrones), valores indicados tambien para inyectores y válvulas de retencion. (Millares de Imperial J. 1987, pag. 179).

Figura 8

Operación del elemento (plunjer) de bomba de inyección



Fuente: Sistema de combustible Nissan UD, 2003

4.4.2 Fases de Alimentación de Combustible

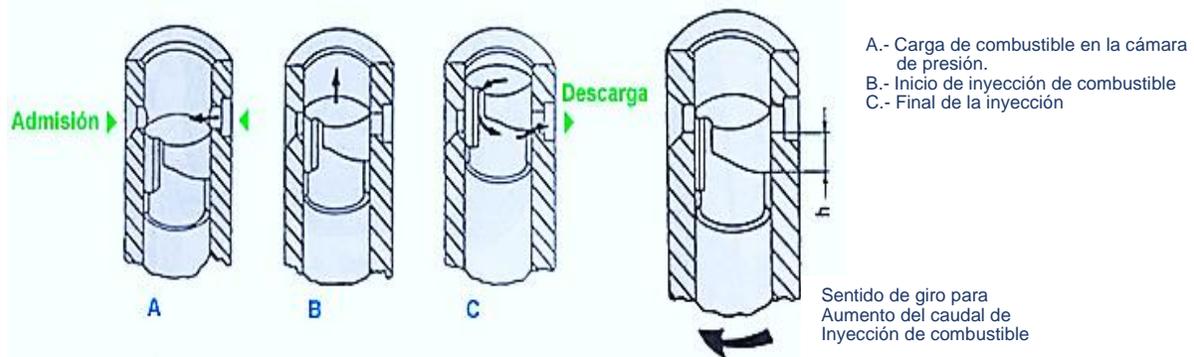
En su funcionamiento de los elementos de la bomba de inyección se pueden observar tres fases de alimentación de volumen de caudal que es enviado por la bomba auxiliar a baja presión y posteriormente también enviado a alta presión a los inyectores del motor, las cuales son las siguientes:

- A. El pistón del elemento se encuentra en su PMI. Y el combustible, a través de unos conductos de llenado, llena la cámara superior y a través de una ranura vertical llena igualmente la cámara inferior del pistón.
- B. El pistón, empujado ahora por la leva de mando, es forzado a realizar una carrera ascendente cerrando los conductos por los que se ha llenado el combustible, quedando este atrapado entre las dos cámaras (superior e inferior). Este momento es el principio de la inyección, el momento en el cual la válvula de descarga situada por encima de la cámara superior, se abre y el combustible se dirige hacia el inyector.
- C. Durante esta fase el pistón ha continuado subiendo impulsando el combustible al inyector hasta que la rampa, (una rampa helicoidal practicada lateralmente en el pistón), descubre

uno de los orificios de llenado (que ahora sera de retorno ya que el combustible se encuentra sometido a presión), cayendo en este momento la presión y cerrandose la válvula que se comunicaba con el inyector, se ha producido el final de la inyección.¹

Figura 9

Fases de funcionamiento del embolo principal



Fuente: Fullmecanica.com

4.4.3 Regulador de la Bomba de Inyección Lineal

El regulador forma parte de la bomba de inyección, llamado también en nuestro medio (gobernador), principalmente tiene la función de controlar y regular las oscilaciones bruscas de la carga, las revoluciones máximas y mínimas desarrollando su trabajo coordinado con las exigencias del conductor.

Regulador de máxima velocidad

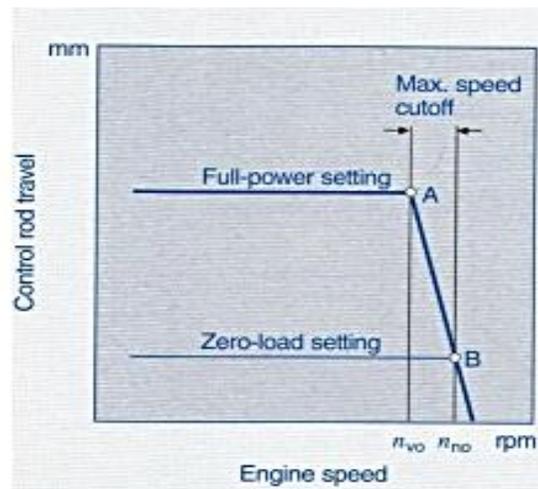
Los reguladores de máxima velocidad industriales están destinados para motores diésel que mueven maquinaria a su velocidad nominal el trabajo del regulador es mantener el motor a su velocidad máxima no siendo necesario el control de la velocidad de ralenti ni el control durante el arranque.

¹ Fuente: Fullmecanica.com

Si la velocidad del motor sube por encima de la velocidad nominal n_{vo} , causa del decremento de la carga el regulador mueve la cremallera para reducir el suministro, la máxima velocidad en vacío n_{no} , se alcanza cuando el motor se descarga completamente, la diferencia entre n_{vo} y n_{no} esta determinada por la respuesta proporcional del regulador, (Castillejo A, 2014).

Figura 10

Mapa característico de un regulador de Máxima velocidad



Fuente: Robert Bosch GmbH, 2007

Regulador de mínima y máxima velocidad

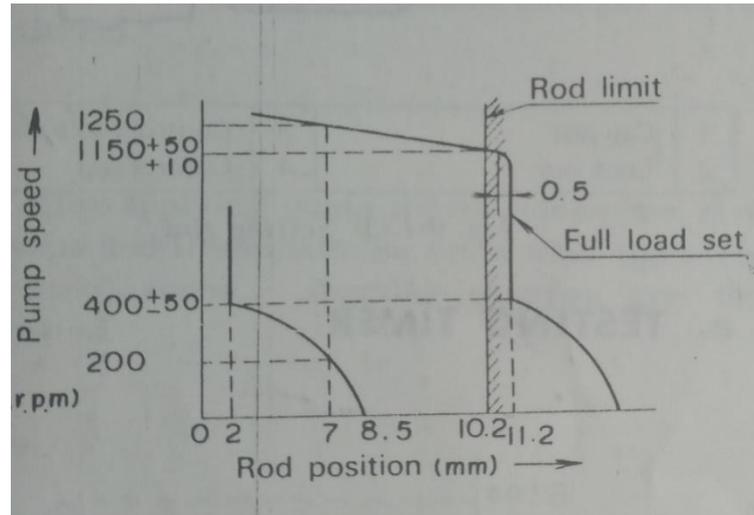
Los motores diésel utilizados en vehículos no requieren el control de la velocidad en el rango entre el ralenti y la máxima velocidad. Dentro este rango la cremallera de control de la bomba es accionada directamente por el pedal del acelerador bajo el control del conductor. Este regulador unicamente se encarga de evitar que el motor se pueda parar estando en ralenti y tambien de limitar la velocidad máxima del motor.

El regulador para velocidad mínima del motor actua cuando, estando la cremallera en posición de mínimo consumo; la carga o par resistente en el motor aumenta, al decrecer el número de revoluciones, el motor podria quedar sin alimentación de combustible, en estas condiciones el regulador desplaza a la cremallera para aumentar el suministro de combustible

de forma que evite que el motor se pare también se encarga de incrementar el suministro de arranque en frío. (Castillejo A. 2014).

Figura 11

Curva de comportamiento del regulador



Fuente: Sistema de combustible Nissan UD, 2003

El funcionamiento del regulador se dá por el propio motor a regular y suele ser el que acciona y hace girar el regulador creando la fuerza centrífuga.

$$F = mw^2r$$

m = masas giratorias

w = velocidad angular de giro

r = radio de giro

Esa fuerza centrífuga pone en tensión la reacción de los muelles antagonistas R y los aprieta hasta que:

$$R = F_c$$

El suministro de combustible afecta directamente la velocidad del motor y la potencia producida, a mayor suministro de combustible aumenta la potencia del motor.

Los reguladores regulan el suministro de combustible para controlar la velocidad del motor a bajas y altas revoluciones, las mismas funciones son regulables con la ayuda del banco de pruebas de acuerdo a la hoja de calibración que presenta cada tipo y marca de bomba de inyección.

4.4.4 Bomba de alimentación de combustible

Los motores diésel utilizan diferentes tipos de bombas de alimentación como las bombas de membrana, bomba aspirante-impelente de émbolo y las bombas de engranajes, además de las bombas de elevación de combustible eléctricas que están equipadas en vehículos de alto tonelaje.

La bomba de alimentación de combustible tiene la función de aspirar el combustible e impulsar a una determinada presión (entre 2 a 3 kg/cm²) con un caudal suficiente para cualquier condición de trabajo del motor.

Desde este componente y hasta la llegada del combustible a la bomba de inyección, se montan en el circuito, normalmente antes del filtro primario, (depende del sistema de inyección utilizado) como pueden ser:

- Válvula de retención
- Válvula de descarga

- Válvula de retención:

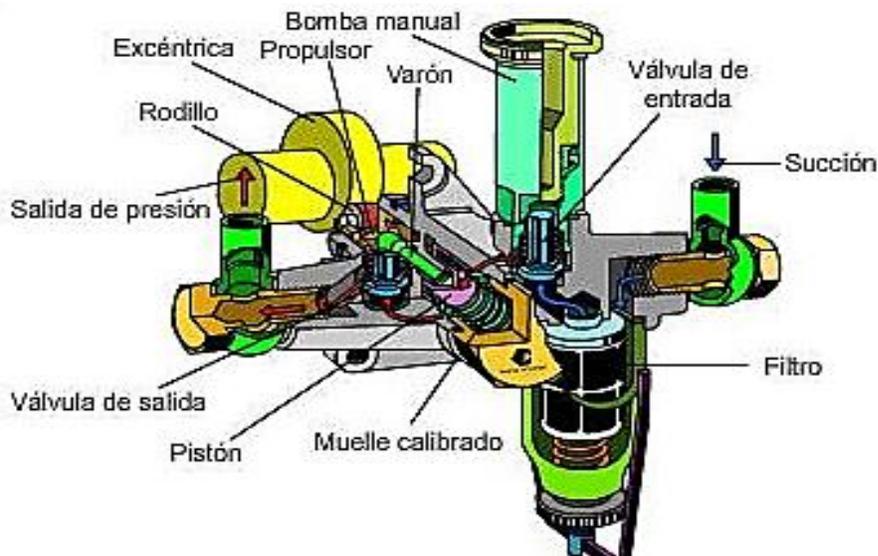
Dependiendo del tipo de sistema de inyección tienen la finalidad de retener el combustible a presión en la bomba de inyección, dejando ingresar sin retorno.

- **Válvula de descarga:**

Esta válvula se encuentra instalada generalmente acoplada a la bomba de alimentación y permite limitar la presión de entrada de combustible que se dirige hacia la bomba de inyección y el combustible excedente conducir nuevamente al depósito de combustible cuyo trabajo desarrolla mecánicamente porque está acoplado al motor.

Figura 14

Bomba de alimentación de embolo



Fuente: Docplayer.es

4.5 La bomba rotativa

Este tipo de bomba, tiene su principio de operación, conservando el funcionamiento de carrera del pistón constante y presenta la característica de alimentar varios cilindros con un único elemento de presurización del combustible, empleando para ello un distribuidor rotativo y que además incorpora en si misma la bomba de alimentación de combustible (llamada aquí bomba de transferencia), además de los diferentes sistemas de regulación y avance.

Por lo tanto se tiene una bomba de inyección que presenta una serie de ventajas:

- Mas pequeña con menos peso por tanto y de más fácil acoplamiento en el motor.
- Dosificación para cada cilindro es perfectamente idéntica (al existir un único y comun elemento de bombeo).
- Mayores velocidades de rotación (ideal para motores diésel rápidos).
- Menor precio de mantenimiento y adquisición.
- Menor consumo de combustible.

Figura 15

Bomba de inyección rotativa, electronica VP30



Fuente: Autor

4.5.1. Funcionamiento

Las bombas rotativas como ya se ha anunciado, llevan incorporadas la alimentación de combustible mediante una bomba de paletas, de tipo volumétrico que aspira el combustible desde el depósito y lo envía al interior de la bomba de inyección bajo una determinada presión, llamada presión de transferencia.

La bomba de transferencia suministra una presión y un caudal de combustible superior al que necesita la bomba para alimentar los diferentes inyectores regulandose esta presión de transferencia por una válvula. La presión una vez regulada es enviada es enviada a la

válvula dosificadora de caudal y de allí al elemento de bombeo a través del cabezal hidráulico, en el conducto que suministra el combustible al cabezal hidráulico, antes de llegar a este se monta una electroválvula de paro que obstruirá este paso de combustible al querer detener el motor.

En el cabezal hidráulico encontramos:

- El elemento de bombeo, se encarga de crear la presión de inyección.
- El rotor o émbolo distribuidor, en su giro solidario con el eje de la bomba, va encarando los conductos de carga de combustible a presión de transferencia regulada por la válvula dosificadora o de distribución a los cilindros en el momento en que el elemento de bombeo somete a presión el combustible.
- El cuerpo o el cabezal del distribuidor, elemento que contiene los conductos de carga y de distribución del combustible a los cilindros.

Antes de llegar el combustible al inyector, en los motores rápidos modernos, se aloja a la salida de la bomba lo que llamamos válvula de reaspiración que cumple doble función:

- Hace mas precisos los principios y finales de inyección.
- Evita los efectos de reducción de caudal en el circuito de alta presión del cabezal hidráulico.

Al igual que la bomba lineal, la bomba rotativa incorpora diferentes dispositivos como mecanismos anticallado del motor de sobrecarga de arranque, limitador de frecuencia de rotacion, (cortando el suministro de combustible para que el motor no pueda exceder de frecuencia de rotacion), variador de avance, regulador de velocidad, sistemas de degasificación hasta mecanismos que mantengan el ralenti acelerado².

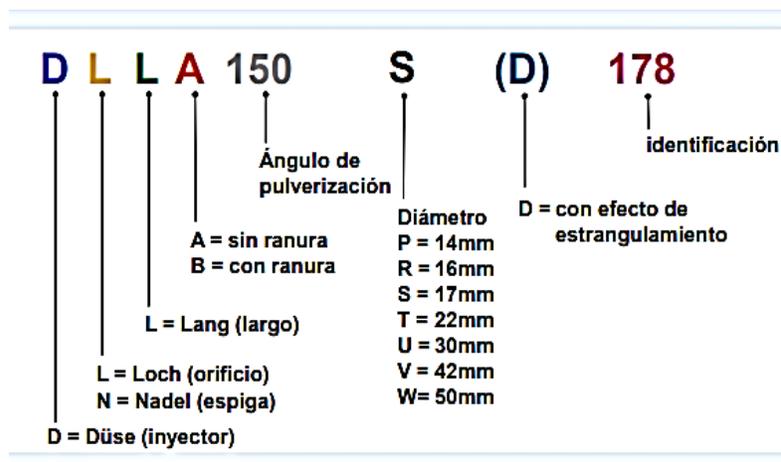
² Millares de Imperial J. 1997

4.6. Inyector Diésel

Es la pieza más importante y delicada del motor, debido a que requiere mantenimientos periódicos y calibraciones según normas establecidas, se debe utilizar buen combustible ya que podría contener impurezas y obstruir el orificio de salida del fluido.

Figura 16

Designación técnica del inyector diésel



Fuente: slideshare.net/alexandercortez543, 2012

4.6.1. Función de los inyectores

El inyector recibe una cantidad de combustible procedente de la bomba de inyección, la cual es alimentada por una bomba previa que está acoplado al costado de la bomba de inyección y distribuye el combustible a cada inyector por medio de sus respectivos conductos de alimentación, el combustible llega al inyector por su parte superior y este tiene que recorrer hasta la parte inferior, donde se encuentran una aguja que obstruye el descenso de combustible.

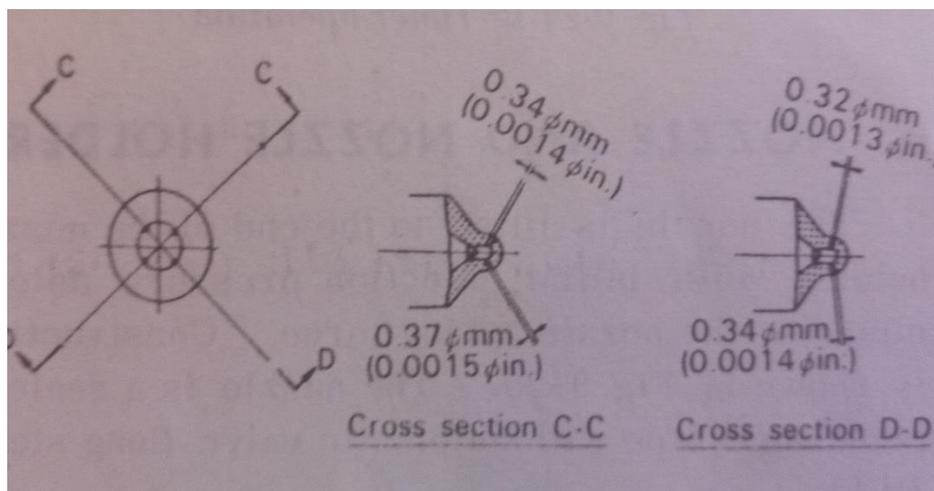
Cuando la presión de apertura del inyector es vencida, esto debido a la presión que se encuentra el combustible, el resorte se comprime hasta tal punto que logra elevar y apartar a la aguja de su asiento de manera abrupta. Esto es una gran garantía que asegura que el

inyector se abrirá muy rápidamente y en el momento de retirar la presión la aguja retornará a su lugar correspondiente.

Muchos de los inyectores mecánicos constan de un tornillo de regulación sobre el resorte, esto permite comprimirlo a menor o mayor área, de esta manera se podrá calibrar a la necesidad requerida o establecida por el fabricante para regular la presión de apertura, esta presión en ocasiones logra alcanzar los 400 Kg/cm². Las toberas son construidas con una gran precisión que, de un mismo lote de ellas, no se le puede cambiar de aguja a otra tobera, esto debido a que no calzaría bien o no asentarían bien las agujas.

Figura 17

Precisión simétrica de la tobera de orificios



Fuente: Sistema de combustible Nissan diésel UD, 2003

4.6.2. Tipos de Inyectores

En la actualidad existe una gran variedad de inyectores, depende directamente del tipo de sistema de inyección y tipo de sistema de alimentación que disponga el motor, aunque todos tengan similares principios de funcionamiento.

Existen dos tipos principales de inyectores:

- De espiga o tetón

- De orificio

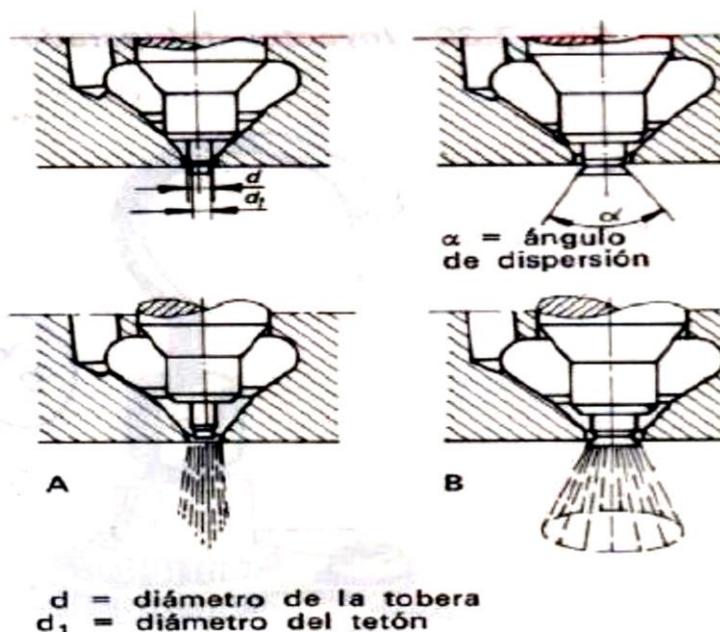
4.6.3. Inyector de Espiga o Tetón

Tiene una válvula en forma de espiga que sale y entra en el orificio por donde pasa el combustible hacia el cilindro, siendo difícil que pueda taponarse. El cierre se realiza por la parte cónica de la espiga o tetón. Este tipo de inyectores es utilizado particularmente en motores de combustión separada o precámaras.

La presión de inyección va desde 60 hasta 150 bar.

Figura 18

Inyector A – Tetón cilíndrico, Inyector B – Tetón cónico.



Fuente: Fullmecánica.com

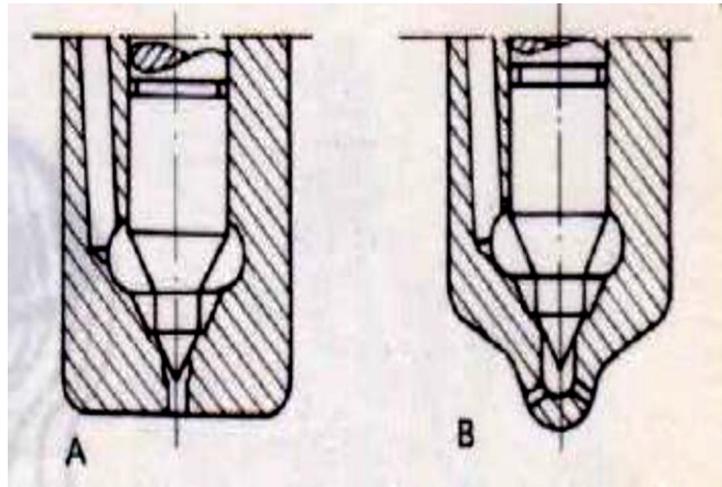
4.6.4. Inyector de Orificio

Este tipo de inyector tiene varios orificios de salida. Las válvulas cierran la salida sin introducirse en los orificios, esto los vuelve más vulnerables a sufrir de obstrucciones por carbonilla.

Una de las grandes ventajas que tiene este tipo de inyector es que permite la orientación y reparto del combustible, esto asegura una excelente combustión, aunque no exista una buena turbulencia de aire, por estos beneficios se los utiliza en la inyección directa. La presión de inyección es mucho mayor que los inyectores de espiga, dicho valor llega a oscilar entre los 150 y 300 kg/cm².

Figura 19

Inyector A – con orificio central Inyector B – con orificios esféricos.



Fuente: Fullmecánica.com

MARCO PRÁCTICO

5.1. Características y aplicación específica

A continuación, se presenta una descripción de funcionamiento de los servicios técnicos que se realiza en la empresa Diésel Alex, por ser de una variedad amplia las mismas presentan diferentes desperfectos técnicos en bombas de inyección como en los inyectores, de diferentes marcas y tipos, siendo que no se podría enumerar todos los servicios realizados de reparaciones y calibración del sistema de alimentación de combustible; en este sentido a continuación se eleva un informe específico, que fué ejecutado al sistema de inyección diésel con accionamiento electrónico del motor 3066T, Mitsubishi, teniendo en cuenta que los nuevos sistemas, son compactos y electromecánicos, que a su vez tienen un funcionamiento coordinado y sincronizado entre todos sus componentes; la misma se describe a continuación.

Con la integración de la electrónica en los sistemas de alimentación diésel se evidencia los fuertes nexos con componentes y principios de funcionamiento ligados a la mecánica convencional, es decir que para desempeñarse profesionalmente, el técnico en sistemas de inyección diésel, necesariamente debiera tener conocimiento y experiencia en el mantenimiento y reparación de sistemas mecánicos y electrónicos, ya que muchas fallas pueden originarse en componentes electrónicos o mecánicos del sistema de alimentación de combustible.

Esta situación exige una nueva y continua actualización de nuevas tecnologías que cotidianamente llegan a nuestro país.

Datos técnicos del motor 3066T

- Potencia en el volante 103 KW, 138 HP
- Cilindrada 6.37 L, 389 pulg.3
- La Excavadora 320C cumple con todos los requisitos mundiales de emisiones (TIER 1).

Figura 20

Motor Mitsubishi, 3066T (Caterpillar)



Fuente: www.truck1.eu

5.1.1 Bomba de inyección diésel con mando electrónico

Las bombas de inyección en línea están instaladas junto al motor y son accionadas por el mismo motor del vehículo. 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, además consta de un elemento para cada cilindro garantiza la alta presión necesaria en vehículos medianos y pesados sometidos a condiciones extremas, dentro de las principales piezas de desgaste de la bomba en línea se encuentran las válvulas y los conjuntos émbolo-barril.

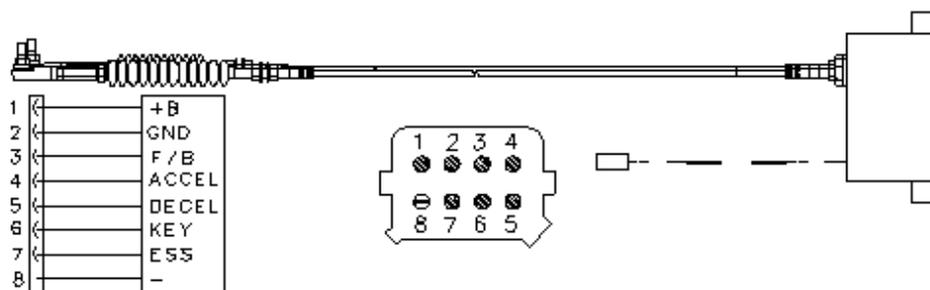
Este tipo de bomba es la primera en desarrollarse por la firma Bosch y es utilizado en múltiples aplicaciones, muy específicamente en los vehículos comerciales pesados debido a la generación de presiones sumamente altas por los grandes motores de constitución muy robusta y muy contrastada en su fiabilidad mecánica pero sus inconvenientes vienen por su tamaño, su peso y número de revoluciones, que gracias a esto se vuelven aptos para vehículos de carga y maquinaria pesada.

Las excavadoras Caterpillar de la serie 320, llegaron a nuestro medio equipadas con un motor Mitsubishi conocidas como 3066T, teniendo un sistema hidráulico, alimentación de combustible, asistido y controlado por componentes electrónicos, denominado de funcionamiento y operación semi electrónico en este informe específico del sistema de combustible se hace notar que la bomba de inyección es accionada por un potenciómetro, adicionalmente por un mando electrónico que trabaja en coordinación con el sistema hidráulico, que tiene la finalidad de acelerar, desacelerar, posición de ralentí según requerimiento del equipo para finalmente apagar el motor.

Monitor de control

El sistema monitor electrónico está diseñado para advertir al operador de un problema inmediato o latente. El problema puede estar en más de uno de los sistemas de la máquina.

Lleva incorporado un conector de 8 pines de conexión a un módulo electrónico y a un motor paso a paso de donde salen dos cables para aceleración y desaceleración, conectados directamente al eje acelerador de la bomba de inyección.

Figura 21*Monitor de control excavadora 320D2, 2017***Fuente:** Elaboración propia**Figura 22***Mando electrónico (gobernador)***Fuente:** SISCAT, 2017

5.1.2 Recepción de la bomba de inyección

Como se observa en la figura 23 se realiza la recepción de la bomba de inyección del motor 3066T motor Mitsubishi, implementado en la excavadora 320 A, B, C, CL..., se puede advertir la suciedad producto del arduo trabajo que realizan diariamente.

Figura 23

Bomba de inyección tipo A, Caterpillar 320C



Fuente: Empresa Diésel Alex

5.2 Diagnóstico al sistema de inyección diésel

Por referencia del operador de la maquina y confirmando con el diagnóstico realizado se estableció los siguientes desperfectos:

- **Falla técnica:** Deficiencia en el encendido por las mañanas, excesivo consumo de combustible, falta de potencia en el desarrollo de su trabajo, fugas en acoples.
- **Diagnóstico:** Elementos (conjunto de émbolo-barril) de bomba de inyección con desgaste, inyector defectuosos, cambio de “o-ring” y retenes.
- **Solución:** Se procede a la reparación del sistema

5.2.1 Limpieza y fumigado

Posterior a la recepción, se procede con la limpieza superficial de la bomba de inyección.

Figura 24

Limpieza de la bomba de inyección



Fuente: Empresa Diesel Alex

5.2.2 Desarmado e inspección de componentes

Posterior a la limpieza se procede a revisar los componentes internos para determinar su desgaste, encontrándose lo siguiente:

- **Falla técnica:** Fuga de combustible por las juntas, falta de presión en la bomba de transferencia, válvulas de retención con fugas, aceleración tardía.
- **Diagnóstico:** Retenes del eje acelerador deteriorados, empaquetadura de la tapa de inspección en mal estado, 'o-ring' de las bridas de salida de combustible transferencia con excesivo desgaste, bujes de acelerador en mal estado.
- **Solución:** Se realiza el reemplazo total de empaquetaduras, bujes, sellos, arandelas, retenes.

Figura 25*Proceso de desarmado***Fuente:** Empresa Diésel Alex**Desacople del eje de levas**

Previo al desacople del eje de levas, se debe trabar los 6 elementos para que así se encuentre libre de giro, con las siguientes observaciones:

- **Falla técnica:** Ruido intermitente del eje de levas, fuga de lubricante por el retén de conexión del eje al motor.
- **Diagnóstico:** Rodamientos y retenes del eje de levas en mal estado
- **Solución:** Reemplazo de rodamientos y retenes del eje

Figura 26*Extracción del eje de levas***Fuente:** Elaboración propia

Recorrido de la cremallera

Se realizó la medición de recorrido de la cremallera de los elementos que dio 28 mm. Lo que nos indica que el elemento tiene un giro simétrico de 14 mm. Por lado para dosificación de combustible, encontrándose el componente en su normalidad.

Figura 27

Medición del recorrido de la cremallera



Fuente: Elaboración propia

Revisión del regulador (gobernador)

El regulador es del tipo RSV, es el componente que regula el encendido, a frecuencias mínimas y máximas además del apagado del motor, consistencia de entrega de caudal a diferentes regímenes de funcionamiento del motor, corte de entrega de combustible la misma se encontró con las siguientes observaciones.

- **Falla técnica:** Motor muy acelerado, encendido intermitente, encendido deficiente.
- **Diagnóstico:** Regulador con falta de tensión, válvula de retención con desgaste, resorte interior para su cambio.
- **Solución:** Calibración del regulador interior, reemplazo de las válvulas de retención, reemplazo del resorte interior.

Figura 28

Regulador RSV de bomba de inyección



Fuente: Elaboración propia

Extracción del contrapeso centrífugo del regulador

Figura 29

Revisión del contrapeso del regulador



Fuente: Elaboración propia

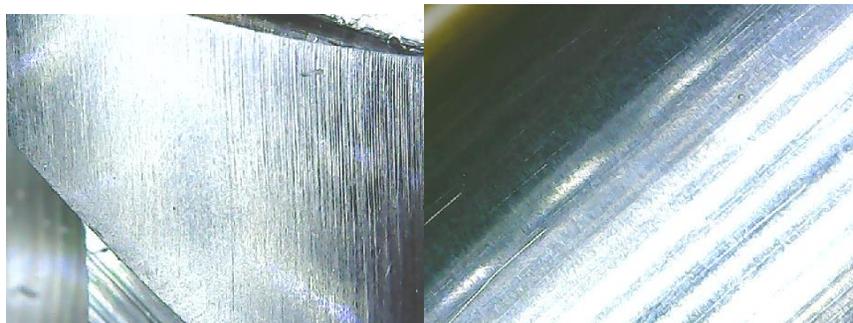
Diagnóstico y revisión de los elementos (conjunto émbolo-barril)

Los elementos de la bomba de inyección constituyen el componente más importante del sistema porque la presión, el encendido del motor, la reacción, la economía de combustible y el rendimiento del motor en general dependen del elemento que comprende el émbolo y barril en la imagen se puede observar el desgaste que sufre principalmente la parte del estriado, de la misma se llega a la siguiente conclusión:

- **Falla técnica:** Falta de potencia, consumo excesivo de combustible, calentamiento del motor, falla de encendido por las mañanas.
- **Diagnóstico:** Elementos de bomba de inyección con desgaste.
- **Solución:** Reemplazo de elementos y válvulas de retención.

Figura 30

Superficie de elemento con desgaste



Fuente: Elaboración propia

Diagnóstico y revisión de los inyectores

Los inyectores de igual forma son parte fundamental para el buen rendimiento del sistema de inyección.

- **Falla técnica:** Combustión con emisiones, falta de potencia y reacción.
- **Diagnóstico:** Ingreso de suciedad en el inyector.

- **Solución:** Cambio de filtros de combustible, reemplazo de toberas, calibración de los mismos.

Figura 31

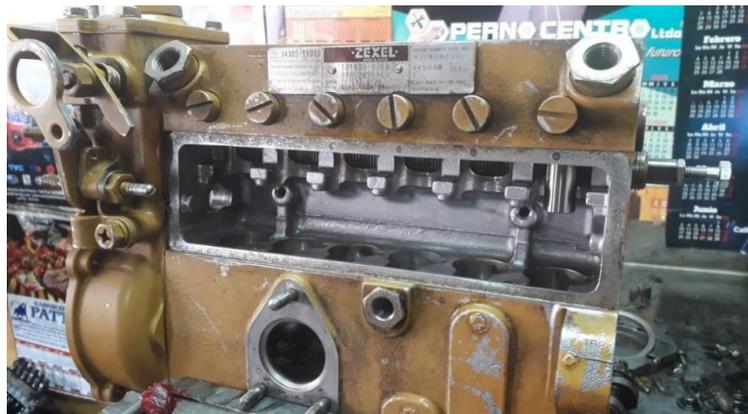
Tobera de inyector en mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Armado de la bomba de inyección

Para el armado de la bomba se procede en el sentido inverso al desarmado como se indicó anteriormente para luego realizar el montaje en el banco de pruebas con el fin de regular la entrega de combustible; considerando que se reemplazaron los elementos de inyección por tanto se presume que a la primera prueba se generará un caudal con exceso de combustible en todos los regímenes de operación, por lo que será necesario calibrar y ajustar la dosificación de combustible.

Figura 32*Bomba de inyección tipo A***Fuente:** Elaboración propia**Placa de identificación de la bomba de inyección****Figura 33***Placa de identificación de la bomba de inyección, tipo A***Fuente:** Elaboración propia

- Código de la bomba: NP-PES6A90C320RS2000.
- PES: Con fijación de la brida frontal.
- A: Con tapa de inspección lateral.
- 90: 9 mm., Diámetro del elemento.
- C320: Letra de modificación.

- R: sentido de giro a la derecha.
- S2000: Especificación tipo de bomba.
- Presión de la bomba=750 bar.
- Potencia del motor=36.18 HP por cada cilindro.
- Presión para vencer la fuerza del resorte del inyector 220 kgf/cm²
- La Excavadora 320C cumple con todos los requisitos mundiales de emisiones (TIER 1).

Placa de identificación y calibración del regulador

En la parte del regulador se tiene las siguientes referencias:

- Ajuste: NP-EP7RSV200-1300AQ39A12.
- Licencia Bosch 105400-7951.

Las indicaciones que se muestra en la parte posterior del gobernador nos indica un ajuste para ralentí de 200 rpm y 1300 rpm para rotación máxima.

Figura 34

Datos técnicos de identificación del regulador.



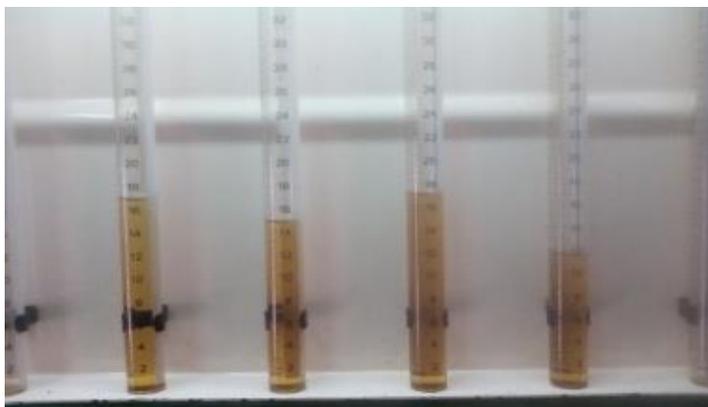
Fuente: Elaboración propia.

5.3. Análisis de resultados

En la figura 35 se puede observar uno de los diagnósticos con el banco de pruebas de dosificación de combustible, los datos de volumen de combustible entregados por la bomba de inyección sometidos al banco de pruebas, nos indican que estos no han estado entregando cantidades homogéneas de combustible como debería ser, ya que los datos muestran una dispersión irregular que oscilan entre 12 y 17 ml. en la prueba de flujo y entrega de caudal.

Figura 35

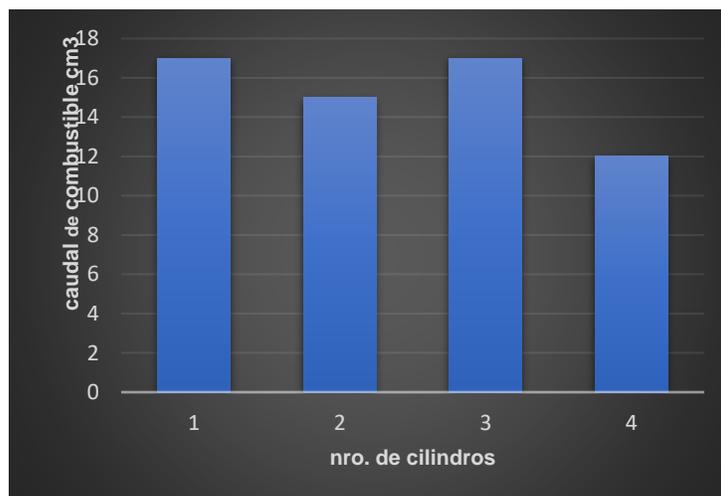
Volumen de entrega de combustible deficiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Entrega de combustible anormal.



Fuente: Elaboración propia

5.4. Ajuste y calibración de la bomba de inyección diésel

Todas las bombas de inyección, luego de una completa reparación se debe calibrar siguiendo las tablas de especificaciones que vienen directamente del fabricante, es importante saber el propósito de la calibración es realizar los ajustes necesarios antes de instalar la bomba en el vehículo o maquinaria lo cual asegura un mejor rendimiento del motor según especificaciones técnicas del equipo.

En este punto cabe hacer notar que para la totalidad de los equipos Caterpillar que se encuentran desarrollando su trabajo en nuestro país, no se dispone de las tablas de calibración por lo que se recurre a pruebas de campo, mediante el método de pruebas y error con varias alternativas de ensayos y al mismo tiempo verificando que se logre un buen desempeño de efectividad en el equipo o maquinaria.

Realizando estos ensayos proposicionales que se dan en el lugar de trabajo principalmente con la elevación de presión de inyección en los inyectores (restricción de ingreso de combustible) y una reducción muy leve de entrega de caudal en la bomba de inyección, en los diferentes regímenes de funcionamiento del motor, con estas pruebas procedimentales y con la utilización del banco de pruebas se llega a sintetizar en la generación de una tabla de calibración de entrega de caudal para un motor específico detallado en la tabla 5.

Para el ajuste final y calibración se dispone de un banco de pruebas de 7.5 KW. de potencia, Bosch EPS-607 para reparaciones y diagnóstico de la variedad de bombas de inyección diésel que se encuentran en nuestro medio.

Figura 37

Inicio de pruebas, bomba de inyección tipo A



Fuente: Empresa Diésel Alex

5.5. Ensayo y generación de tablas de calibración

Para las pruebas de entrega de caudal de combustible en este caso puntual de la marca Caterpillar se debe indicar que lamentablemente en el mercado local no existe tablas de calibración de las bombas de inyección Caterpillar, proporcionados por la empresa importadora a nuestro país, las misma como se indicó son manejados con aparente confidencialidad y reserva en la proporción de información de tablas de calibración a la comunidad de laboratorios de inyección de nuestro medio.

Esta situación es un inconveniente para el desarrollo de las actividades de diagnóstico y reparaciones ocasionando un retraso en los servicios de calibraciones por la falta de información de las empresas e importadoras en nuestro país.

Es de esta manera que se recurre a maquinaria que se importa del exterior y que las mismas llegan con varios requerimientos como es la pintura fugas de lubricante, sellos hidráulicos en mal estado, y con la calibración de combustible adecuado para nivel costa ocasionando una mala combustión en nuestro medio porque a medida que aumenta la altitud,

desciende la presión atmosférica por este motivo también disminuye el llenado del cilindro con aire para la combustión. Si se inyectara el mismo caudal con la presión atmosférica baja, se produciría una combustión incompleta (mezcla rica) a causa de la baja concentración de aire debido a la altura en que nos encontramos, por lo que necesariamente se procede a su calibración del sistema de inyección de combustible.

A continuación, se presenta datos de ensayo realizados en pruebas de campo de la bomba de inyección tipo A, motor Mitsubishi de la marca Caterpillar, en la que se determinó resultados de caudal a plena carga, ralentí y caudal de arranque obtenido con la aplicación de las funciones principales realizado por el banco de pruebas implementado en el motor 3066T.

Tabla 1

Características técnicas de la bomba de inyección.

BOMBA DE INYECCIÓN SOMETIDA A PRUEBA	
Motor	3066T
Sistema de inyección	Directa
Tipo de bomba de inyección	Lineal 6 salidas
Modelo	TipoA (giro derecho)
Marca	Mitsubishi (caterpillar)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Descripción del ensayo.

CONDICIONES DE ENSAYO	DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS
1	Velocidad (100, 320, 550) r.p.m.
2	Contador programado a 100 inyecciones (strokes)
3	Corte de combustible a 1300 rpm según especificación
4	Posición del regulador en arranque, ralenti y plena carga
5	Inversor de frecuencia determinado según procedencia
6	Programación preestablecida del combustible a 40°C
7	Presión de suministro de combustible 1.5 bar

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Ensayo de entrega de caudal de combustible en el banco de pruebas.

Ensayo	r.p.m.	Strokes	Caudal suministrado(cm ³)	Diferencia de caudal
Calibración y ajuste de caudal de arranque				
1	100	100	14	0,6
Calibración y ajuste de caudal en ralentí				
2	320	100	7	0,6
Calibración y ajuste de carga máxima				
3	550	100	12	0,6

Fuente: Elaboración propia.

Caudal de encendido

Al efectuar el ciclo de encendido se realiza por la acción del resorte recuperador interior un exceso de caudal de combustible en función de la temperatura del medio ambiente por tanto del líquido refrigerante y potencia de giro del motor de arranque, las secuencias para determinar el caudal de arranque se emiten desde el momento de la conexión del interruptor de encendido hasta que se alcanza el número de revoluciones mínimo (100 rpm), tratándose de una bomba de inyección tipo RSV, el operador no tiene ninguna influencia sobre el caudal de arranque.

Figura 38

Entrega de caudal para el encendido



Fuente: Elaboración propia.

Caudal de ralentí

La función de regulación de ralentí es ajustar un régimen mínimo de alimentación de combustible cuando el acelerador no está accionado, este régimen teórico puede variar en función del estado de servicio del motor, así por ejemplo se establece normalmente un número de revoluciones al ralentí mayor cuando el motor está estacionado el ralentí debe ser lo más bajo posible por motivos de consumo y de emisiones.

Figura 39

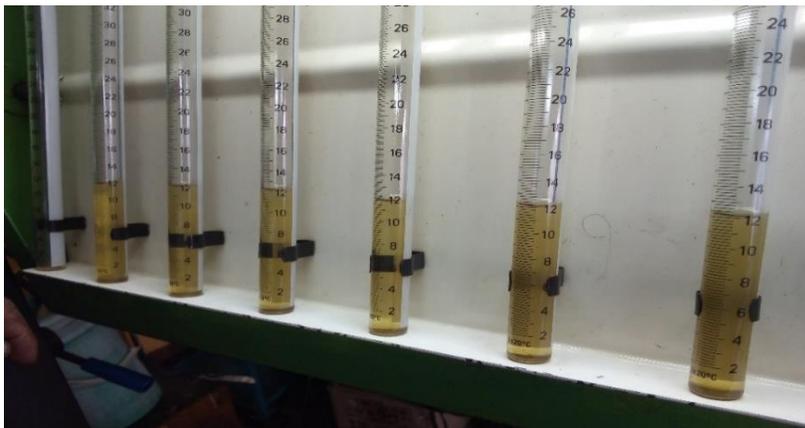
Entrega de caudal para el régimen de ralentí



Fuente: Elaboración propia

Caudal a plena carga

Para la regulación a plena carga se ajusta en los reguladores del tipo tornillo de tope de la palanca de mando, en este tipo de reguladores el tope define el tope máximo de la varilla de regulación (cremallera), la realización de este ajuste puede variar en cuanto al orden. Así mismo se debe verificar en esta prueba la posición angular del eje acelerador según indicación en la tapa de gobernador de corte de combustible a revolución máxima (1300 rpm.).

Figura 40*Entrega de caudal para el régimen de plena carga***Fuente:** Elaboración propia.**5.6 Parámetros de entrega de combustible caudal/rpm**

En la tabla 5 se muestra el parámetro caudal/rpm, de entrega de combustible, que realiza el banco de pruebas a una presión previamente regulada en los inyectores maestros de 200 bar, donde se puede observar el efecto del proceso de cambio de caudales según las r.p.m. en los diferentes regímenes de funcionamiento de un motor diésel controlados por el gobernador.

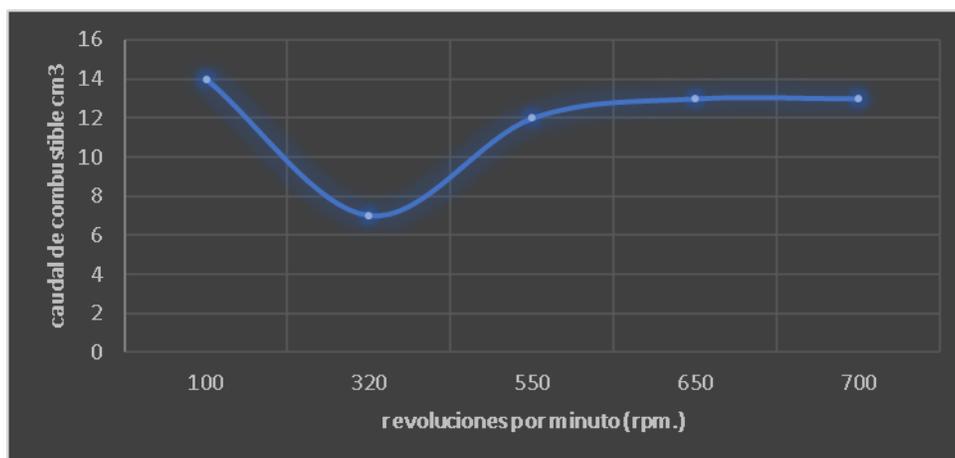
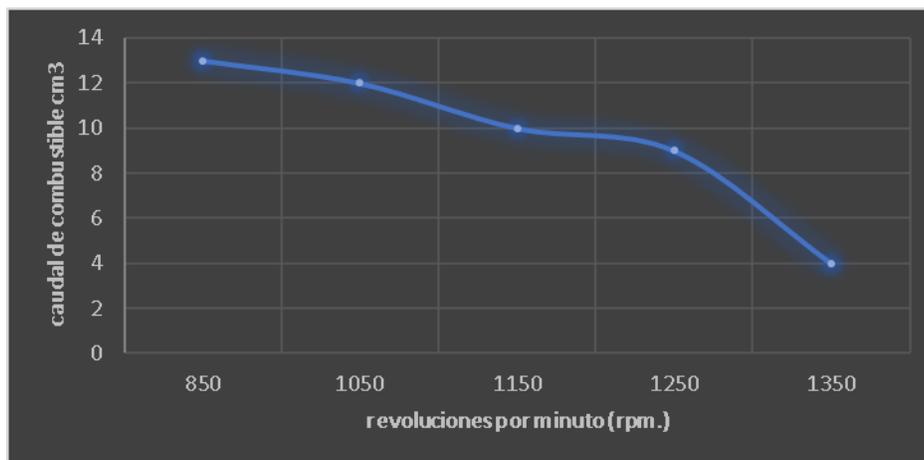
Tabla 4*Entrega secuencial de caudal (cm³) vs. (rpm.), Caterpillar desarrollado en el banco de pruebas***Fuente:** Elaboración propia

Tabla 5

Corte de suministro de caudal, ejecutado por el regulador (gobernador)



Fuente: Elaboración propia

5.7. Inyector del sistema de inyección tipo A, motor 3066T

Como se observa en la figura 41 este inyector posee 6 orificios de pulverización de combustible, con un ángulo de inyección de combustible de 150 grados y finalmente el número de identificación técnica para pedido PN315.

Figura 41

Pulverización de combustible inyector DLLA150PN315



Fuente: Elaboración propia

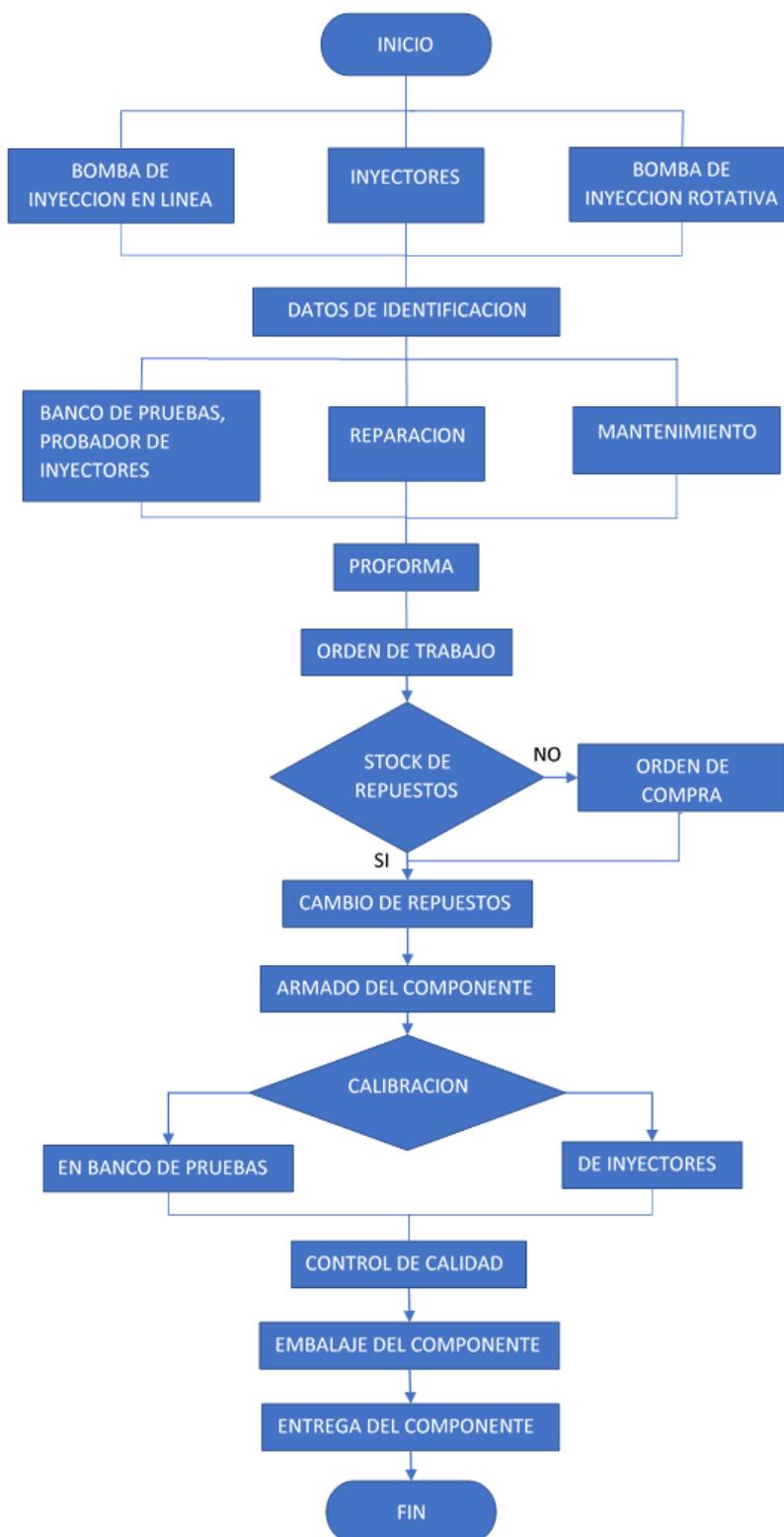
Tabla 6

*Resumen de mantenimiento y reparación al sistema de inyección diésel
Motor 3066T*

Descripción de servicio	Falla técnica	Diagnostico	Solución
Prediagnóstico	Fuga de combustible y lubricante	Sellos y retenes con deterioro	Revisión total
Limpieza y fumigado			
Tensión de resortes de los elementos	Ruido de sincronización	Resortes contraídos	Resortes para su reemplazo
Desacople del eje de levas	Ruido intermitente	Rodamientos cónicos con excesiva holgura	Reemplazo de rodamientos
Revisión de los elementos(émbolo-barril)	Encendido deficiente	Conjunto émbolo-barril con desgaste	Reemplazo de conjunto émbolo-barril
Cremallera de regulación	Frecuentemente se queda trabado	Suciedad en el lubricante	Lavado y limpieza
Botadores	Rodillos con lubricante contaminado	En buen estado	Lavado y fumigado
Revisión del regulador	Motor acelerado	Válvulas de retención con desgaste, resorte de encendido muy elongado	Ajuste del regulador, reemplazo de las válvulas de retención
Eje de acelerador	Presenta fuga de lubricante	Buje de acelerador con desgaste	Cambio de buje
Eje de apagador	Fuga de lubricante	Eje con desgaste	Retenes con sobre medida
Inyector	Combustión con emisiones	Ingreso de suciedad al inyector	Reemplazo de toberas y calibración de inyectores
Fuga de presión	Fuga de combustible	Tapa de inyector con desgaste	Cambio de tapa de inyector
Resorte de inyector	Presión baja	Resorte de inyector con baja resistencia	Recompensar la presión con arandelas de calibración.
Presión de inyección	1ra. Prueba 220 bar	Presión baja	Se calibro a 275-280 bar

Fuente: Elaboración propia

Figura 42
Flujograma de mantenimiento del sistema de inyección diésel



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI

ESTADÍSTICA DE SERVICIOS TÉCNICOS REALIZADOS

6.1. Detalle estadístico de trabajos realizados

A continuación, se presenta la relación de trabajos realizados del 2 de mayo al 20 de agosto del 2019.

Tabla 7

Detalle de trabajos realizados

DESCRIPCIÓN DE TRABAJO	MOD.	TIPO DE MAQUINA/VEHÍCULO	SERIE	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	MARCA	NRO. DE TRABAJOS
Reparación de bomba inyectora	320	excavadora	7JK97238	Bomba lineal tipo A	Caterpillar	8
Calibración de bomba inyectora	D6M	tractor a orugas	TRZD00107	manguito	Caterpillar	6
Calibración de inyectora	TD122 F	Camión	F12	tipo P (6 pistones)	volvo	5
Calibración de bomba inyectora	3306	cargador frontal	1321	compacto	Caterpillar	4
Reparación de bomba inyectora	JD3080	motoniveladora	GR670B	bomba lineal P	Jhon Deere	2
Calibrado de inyectora	L180	cargador frontal	Q6.5	bomba lineal P	volvo	3
Calibrado de bomba inyectora	CS563 E	rodillo vibro compactador	ASA000507	rotativo electrónico	Caterpillar	2
Calibrado de bomba inyectora	TD27	Camioneta	QD0XYAB	rotativo convencional	Nissan	4
Calibrado de inyectora	K2	camioneta hylux	34ZD000027	Common rail	Toyota	3
Calibrado de bomba inyectora	IT18	cargador frontal	4ZD000515	New Scroll	Caterpillar	1

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1. Servicios técnicos realizados por marca

Se recibió del 2 de mayo al 20 de agosto del 2019 en el siguiente resumen de los cuales se dividen por marcas aproximadamente.

Tabla 8

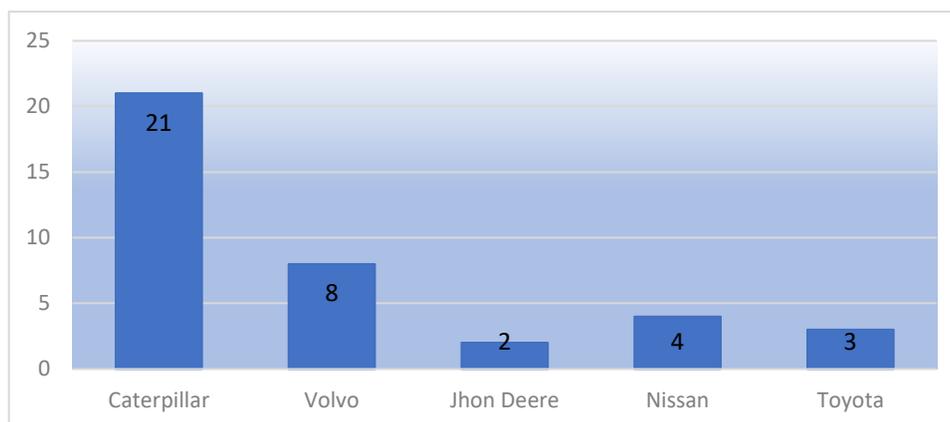
Resumen de servicios técnicos por marcas

Marca	Nro. trabajos
Caterpillar	21
Volvo	8
John Deere	2
Nissan	4
Toyota	3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9

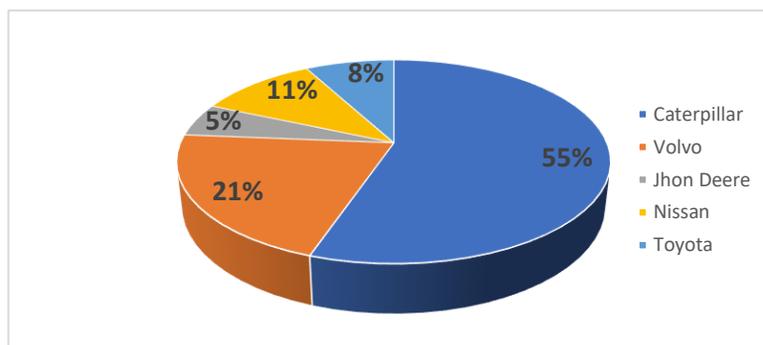
Frecuencia de servicios técnicos realizados



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Porcentaje de trabajos realizados



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

7.1. Conclusiones

Se concluye que el sistema de inyección, es parte principal del funcionamiento del motor diésel para mantener constante la relación estequiométrica aire combustible, así mismo el procedimiento y parámetros de calibración de entrega de caudal con la operación necesaria del banco de pruebas bajo las siguientes puntuaciones:

- Conocer el funcionamiento, la forma o los pasos a seguir para realizar la calibración de bombas inyectoras diésel.
- De acuerdo a los valores de los tubos de ensayo (componente de medición de volumen de combustible del banco de pruebas), se determinará si hay un mayor consumo en altas o bajas revoluciones ya que de existir valores de consumo muy exagerados darían como resultado un desgaste prematuro en los elementos internos de la bomba.
- El diagnostico que genere el banco de pruebas, permitirá actuar de manera acertada y precisa sobre los elementos defectuosos de la bomba de inyección.

7.2. Sugerencias

Se sugiere continuar con la gestión de investigación de sistemas de inyección diésel con nuevas tecnologías (common rail, EUI, HEUI), con actualizaciones de programas informáticos de aplicación automotriz que ayuden a mejorar el nivel profesional, según requerimientos actuales referentes a maquinaria pesada de fallas técnicas, que hacen necesarios la prosecución holística de la investigación.

Para prevenir el desgaste prematuro de los componentes del sistema de inyección, la calidad de combustible es parte esencial para el buen desempeño y durabilidad, sin embargo por la necesidad que se tiene en la importación del combustible diésel (424 millones de litros de déficit del consumo anual, según el Instituto de investigaciones mecánicas de la UMSA), se sugiere el análisis de propiedades químicas de estos combustibles específicamente con el contenido de azufre que al combinarse con el vapor de agua se transforma en ácido sulfúrico altamente nocivos para la salud y la contaminación ambiental.

Referencias bibliográficas

- Castillo, A. (2014). *Sistema de inyección en Motores diésel*. Univ. De Sevilla
- Gil Martínez, D. (2001). *Reparación y mantenimiento del motor diésel*. Ed. Cultural SA
- Millares, J. (2007). *bombas de inyección diésel*. CEAC
- Miller, R. (2012). *Manual de reparaciones de automóviles*.
<https://www.lexuseditores.com>
- Nicholson, H. (2008). *Reparación y mantenimiento de maquinaria pesada*. <https://e-libro.net/libros/?ideditorial=250284>
- Pla Prades, J. (2000). *Motores diésel*. 1ra. Ed. CEAC
- Shigley, (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. (octava edición)
- Siscat. *Sistema de información de servicios Caterpillar*. (2017).

ANEXOS

Anexo A

Ajuste de válvulas motor 3056E



Fuente: Elaboración propia.

Anexo B

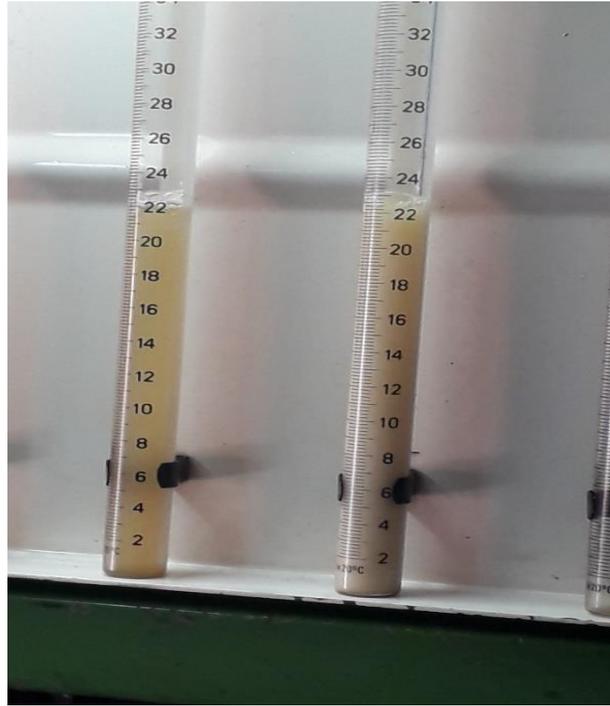
Diagnostico con el interfaz de comunicación con adapter III

Cat Electronic Technician 2017A v1.0		Códigos de diagnóstico registrados		
3056 Compactador 500E (CPT08373)		13/07/2019 11:10 a.m.		
Parámetro	Valor			
Identificación del equipo	NOT PROGRAMMED			
Número de serie del motor	CPT08373			
Número de serie del ECM	073460271B			
No de pieza del módulo de personalidad	2603308-00			
Fecha emisión del módulo de personalidad	APR05			
Descripción del módulo de personalidad	CAT 3056 Engine			
Código	Descripción	Veces	Primera	Última
3056 Compactador 500E (CPT08373) - Reloj de diagnóstico = 7727 horas				
1684- 7	Bomba de inyección de combustible : No responde correctamente	1	7715	7715
1684-11	Bomba de inyección de combustible : Otra modalidad de avería	105	7696	7698

Fuente: Programa informático Electronic Technician, 2017.

Anexo C

Combustible contaminado.



Fuente: Elaboración propia

Anexo D

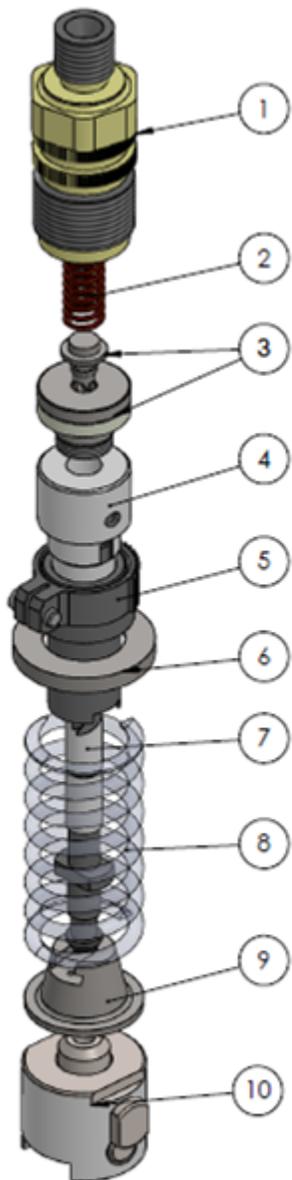
Excavadora Caterpillar 320C con motor Mitsubishi.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo E

Partes del elemento de la bomba de inyección lineal.



Componente	Nombre
1	Brida de salida
2	Resorte
3	Válvula
4	Cilindro
5	Corona dentada
6	Soporte
7	Elemento
8	Resorte
9	Soporte
10	Rodillo, Botador

Fuente: Paredes Sarabia Miguel Ángel, 2014.

Anexo F

Normas de ensayo-A, Volvo motor TD122F (F12)

Camiones		Sección		Grupo	
T		2		23	
Tipo de bomba		PEEP 120A 120RG 3178		Nº	
		Volvo art. n.º 470890 (0 401 846 E)		1	
Tipo de regulador		RQV 250 - PA 657-11		Hoja	
Tipo de motor		TD 122F		129	
Fecha		11.87			

Normas de ensayo diésel

DATOS

Orden de inyección 1 5 3 6 2 4 Sentido de rotación A derechas Lado de acoplamiento Izquierdo

Orden de ensayo A, B, F1—F14, C, D, E, F15, G Temp. aceite de ensayo °C(°F) 40 (104)

Reglaje de bomba en el motor 19,0±0,5° a.p.m.s.

Disposiciones especiales: La bomba debe funcionar con el diafragma nivelador de presión (P684A) y válvula de rebosa (1 457 413 010, 150 kPa) montados uno frente al otro en las roscas más próximas al regulador. (La válvula de rebosa en el lado de la bomba de alimentación).

Aceite de ensayo según ISO 4113

A. SINCRONIZACION

Elevación desde el círculo básico al principio de la alimentación 3,6—3,7 mm a la carrera de regulación de 8 mm

Tolerancia entre cilindros ±0,5 grados Juego de tope — mm

B. REGLAJE CON INYECTOR TIPO S

Tubos de presión
Longitud — mm Ø Interior — mm

inyector de ensayo.
Presión de descarga — MPa (psi)

Portatobera { tobera {

Portatobera { tobera {

Presión de alimentación — kPa (psi)

Ensayo nr.	Carrera de regulación mm	Régimen r/s (r.p.m.)	Número total de emboladas	Caudal suministrado cm ³	Dif. máx. mm
1					
2					
3					
4					
5					
6					

* Tensión del resorte en válvula de impulsión — mm (máx. — mm, mín. — mm). Si se aumenta el tensado, aumenta el caudal.

B. REGLAJE CON INYECTOR ISO 7440/1

Tubos de presión
Longitud 1000 mm Ø Interior 3 mm

inyector de ensayo.
Presión de descarga 20,7—21,1 (3000—3060) MPa (psi)

inyector compl. { 1 688 901 019 Disco perforado { V-8

inyector compl. { HF 868 Disco perforado { HF 878 V-8

Presión de alimentación 150(21) kPa (psi)

Ensayo nr.	Carrera de regulación mm	Régimen r/s (r.p.m.)	Número total de emboladas	Caudal suministrado cm ³	Dif. máx. cm ³
1	13,2	11,7 (700)	100	22,9—21,2	0,5
2					
3					
4		4,2 (250)	1000	18,0—23,0	5,0*
5					
6					

* Tensión del resorte en válvula de impulsión 2,5±0,1 mm (máx. 2,9 mm, mín. 2,2 mm). Si se aumenta el tensado, aumenta el caudal.

C. AJUSTE DEL CAUDAL MÁXIMO

Tipo de prueba	Régimen r/s (r.p.m.)	Caudal suministrado cm ³ a 1000 emboladas	Presión en el límite de humos kPa (psi)	Dif. máx. mm
Caudal bajo ajuste	11,7 (700)	162—166	0 (0)	
Caudal alto ajuste	11,7 (700)	229—233	100 (15)	
Caudal bajo en control	11,7 (700)	161—166	0 (0)	7,0
Caudal alto en control	11,7 (700)	228—233	100 (15)	6,0
Caudal alto gran ajuste	11,7 (700)	—	100 (15)	

Fuente: Robert Bosch, 2000.

Anexo G

Normas de ensayo-B, Volvo TD122F (F12)

D. LIMITADOR DE HUMOS						
Tipo de ensayo	Régimen r/s (r.p.m.)	Punto de ruptura. Se controla con el resalte de la palanca de aceleración contra el tope de máx.	Presión del limitador de humos			
			kPa	mm Hg	psi	
Ajuste	8,3 (500)	Punto de ruptura superior: El resalte debe haber alcanzado 0,2 mm desde el tope de caudal máx. cuando la presión ha descendido a	6,7—9,3	50—70	1,0—1,3	
Control	8,3 (500)	Punto de ruptura superior: El resalte debe haber alcanzado 0,2 mm desde el tope de caudal máx. cuando la presión ha descendido a	6,7—9,3	50—70	1,0—1,3	
Control	8,3 (500)	Punto de ruptura inferior: El resalte debe haberse desplazado 0,2 mm cuando la presión ha subido a	60—68	450—510	8,7—9,9	

E. CONTROL DEL CAUDAL DE ARRANQUE		
Régimen r/s (r.p.m.)	Caudal empujadas	Notas
1,7 (100)	12—14,5	Se hace funcionar con la palanca de aceleración contra el tope del reg. máx. Presión en el limitador de humos 0 kPa (0 psi)
1,7 (100)	24—29	Como arriba pero con el mando de arranque extraído

F. CONTROL Y AJUSTE DEL REGULADOR						
La distancia entre la superficie de la junta en la caja del regulador (sin junta) y el centro del anillo de empuje ha de ser de 35,0±0,2 mm. La distancia entre la superficie de la junta en la tapa del regulador (con junta) y el centro del pivote de dirección del brazo de articulación ha de ser de 24,5±0,2 con el tornillo de ratenl acelerado desmontado y el brazo de aceleración en la posición de régimen máximo.						
Pueba n.	Carrera manguito mm	Angulo palanca aceleración	Carrera de ajuste, mm	Régimen r/s	Régimen r.p.m.	Notas
1	1,2—1,4			4,2	250	Ajuste básico platillo muelle exterior Controlar hasta 9,6 r/s (575 r.p.m.) que no hay irregularidades en la carrera del manguito Control de escalón. Entre 11,0 r/s (660 r.p.m.) y 14,0 r/s (840 r.p.m.) la carrera del manguito debe estar dentro de los límites indicados Control del sector de regulación superior
2	3,0			6,0—7,0	360—420	
3	6,0			9,6—10,7	575—640	
4	6,3—6,7			11,0—14,0	660—840	
5	7,9—8,4			16,5	990	
6	11,0			18,5—19,5	1110—1170	
7		11±3	6,0	4,2	250	Ajuste
8		11±3	7,5—9,5	1,7	100	Control
9		1	1,5	6,2—7,5	370—450	Control
10		42±3	6,0	12,0	720	Ajuste
11		42±3	5,0	14,0—15,0	840—900	Control del limitador de humos superior
12		42±3	7,0	9,2—10,7	550—640	Control del limitador de humos inferior
13		65±3	10,0	16,7	1000	Ajuste
14		65±3	1,0	17,7—18,5	1060—1110	Control
15		Contra el tope de rég. máx.	Véase texto	16,3—16,5	980—990	Con 100 kPa (15 psi) al limitador de humos. Al régimen indicado se ajusta el resalte de régimen de modo que la carrera de regulación sea de 1,0 mm, inferior al valor referido al caudal alto
17						

Fuente: Robert Bosch, 2000.