

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

**Construcción de Simuladores de Inyección Diésel con Bomba
Lineal y Sistema Bomba Inyector.**

Daniel Esteban Troya Zapata

Francisco Xavier Vásquez Cervantes

Gonzalo Tayupanta, MsC, Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la Obtención del título de
Licenciado en Electromecánica Automotriz

Quito, diciembre de 2014

Universidad San Francisco de Quito

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Construcción de Simuladores de Inyección Diésel con Bomba
Lineal y Sistema Bomba Inyector.**

Daniel Esteban Troya Zapata

Francisco Xavier Vásquez Cervantes

Gonzalo Tayupanta, Msc.

Director de Tesis

.....

Eddy Villalobos, Msc.

Miembro de Comité de Tesis

.....

José Martínez, Msc.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena M. Córdova, Ph.D.,

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio Politécnico

.....

Quito, diciembre de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Daniel Esteban Troya Zapata

C. I.: 1722735618

Fecha: Quito, diciembre de 2014

Firma:

Nombre: Francisco Xavier Vásquez Cervantes

C. I.: 1713587432

Fecha: Quito, diciembre de 2014

Resumen

Los simuladores de sistemas de inyección diesel tienen la finalidad de, en su marco didáctico, ser un material visual muy cercano a la realidad, es decir, de mostrar el modelo y proceso de inyección de manera directa, lo cual facilita su entendimiento y su manipulación. El presente documento tiene el fin de explicar de una manera breve lo que es una bomba de inyección diesel lineal y un sistema bomba-inyector; y de manera más enfocada, a la construcción y funcionamiento de los simuladores en sí.

Abstract

The diesel injection simulator systems are design, in the education context, to be a visual material very close to reality, in other words, to show the model and injection process directly, which facilitates understanding and manipulation. This document is intended to explain, in a brief way, what is a diesel direct injection pump and the pump-injector system; and more focused manner, explain the construction and operation of the simulators.

Objetivos

Objetivo General

- Construir dos simuladores de inyección diesel mecánica, con bomba lineal y bomba-inyector, en donde se represente de manera visual y didáctica el funcionamiento de ambos sistemas con el fin de comprender y analizar los parámetros de trabajo del sistema en conjunto y de sus componentes en singular.

Objetivos Específicos

- Visualizar y manipular los elementos que forman parte de los sistemas de inyección a tratar para familiarizarse con los sistemas de inyección diesel mecánicos.
- Determinar el trabajo de las dos bombas de inyección en un panorama didáctico, manipulando sus componentes y condiciones de trabajo con la finalidad de realizar diferentes pruebas de inyección.
- Aprender a calibrar las bombas de manera manual mediante el uso de herramientas y asesoría adecuada, con el fin de determinar el caudal de de los inyectores y carga de la bomba de inyección.

Índice General

Índice General	7
Índice de Tablas y Gráficos	10
Capítulo I	12
1.1 Bomba de inyección diesel lineal	12
1.1.1 Bomba lineal	12
1.1.2 Constitución y funcionamiento	13
1.1.2.1 Las principales funciones de la bomba lineal	15
1.1.2.2 Ciclos de inyección de un motor a diésel	17
1.1.2.3 Constitución y funcionamiento de la bomba de transferencia	19
1.1.2.4 Regulador de avance a la inyección	21
1.1.2.5 Constitución y funcionamiento del regulador de avance a la inyección	23
1.1.2.6 Regulador de velocidad	25
1.1.2.7 Constitución y funcionamiento del regulador de velocidad	26
1.1.2.8 Constitución y funcionamiento de los inyectores	28
Capítulo II	31
2.1 Sistema de inyección Detroit o Bomba Inyector	31
2.1.1 Sistema de inyección Detroit dos tiempos, series 16-71, V871, 12V71, 8V92	31
2.1.2 Inyector sistema Detroit series I6-71, V8-71, 12V71, 8V-92	33
2.1.3 Operación de la bomba de combustible	34
2.1.4 Piezas principales de la bomba inyector	35
2.1.5 Bomba de combustible	36
2.1.5.1 Constitución de la bomba de combustible	37
2.1.6 Filtros de combustible	40
2.1.7 Governor	41
Capítulo III	45
3.1 Bomba de inyección BOSCH PES4A50B410RS144	45
3.1.1 Descripción	45
3.1.2 Características técnicas	47
3.1.3 Constitución y configuración de la bomba PES4A	47
3.1.4 Constitución y funcionamiento del cuerpo de inyección	48
3.1.5 Funcionamiento de regulación de dosificación o caudal de combustible entregado	50
Capítulo IV	52

4.1 Simulador de inyección Detroit o bomba-inyector	52
4.1.1 Constitución del simulador	52
4.1.2 Especificaciones del motor 8v-71 y su inyector	54
4.1.3 Inyector del sistema Detroit 8V-71	55
4.1.3.1 Partes del inyector del sistema Detroit 8V-71	56
Capítulo V	60
5.1 Simulador de inyección diesel con bomba lineal	60
5.1.1 Cuadros de ensamble y montaje del simulador de bomba lineal BOSCH	60
5.1.2 Constitución y presupuesto del simulador diesel con bomba lineal	66
5.1.3 Manual de accionamiento del simulador de inyección Diesel con bomba lineal	65
5.1.4 Funcionamiento del simulador de inyección Diesel con bomba lineal	68
Capítulo VI	69
6.1 Pruebas simulador de inyección diesel con bomba lineal	69
6.1.1 Pruebas de caudal	69
6.1.2 Tabla de resultados de pruebas de caudal	70
6.1.2.1 Prueba de caudal en 10 segundos con diferentes cargas	70
6.1.2.2 Prueba de caudal en 20 segundos con diferentes cargas	71
6.1.2.3 Prueba de caudal en 30 segundos con diferentes cargas	73
6.1.3 Tabla de fotografías de prueba de caudal: 10 segundos	75
6.1.4 Tabla de fotografías de prueba de caudal: 20 segundos	77
6.1.5 Tabla de fotografías de prueba de caudal: 30 segundos	79
Capítulo VII	81
7.1 Simulador Detroit	81
7.1.2 Objetivos	81
7.1.3 Materiales	82
7.1.4 Tabla de costos del simulador	84
7.1.5 Herramientas y equipos	84
7.1.6 Construcción del simulador de inyección Diesel Detroit	85
Capítulo VIII	91
8.1 Pruebas simulador bomba inyector	91
8.1.1 Pruebas y evaluaciones	91
8.1.1.1 Evaluaciones	91
8.1.1.2 Pruebas	92

8.1.2 Caudal	92
8.1.2.1 Pruebas en carga baja	92
8.1.2.1.1 Gráfico comparativo: carga baja	94
8.1.2.2 Carga media	95
8.1.2.2.1 Gráfico comparativo: carga media	96
8.1.2.3 Carga máxima	97
8.1.2.3.1 Gráfico comparativo: carga alta	99
8.1.3 Consumo de combustible del sistema 8v-71	99
8.1.4 Visibilidad de inyección	101
8.1.5 Inyección a distintas cargas y velocidades	102
Conclusiones	105
Recomendaciones	107
Bomba lineal	107
Bomba inyector	107
Generales	108
Glosario de términos	109
Referencias bibliográficas	111

Índice de Tablas y Gráficos

Gráfico 1.1: Bomba de inyección lineal	12
Gráfico 1.2: Partes del filtro de combustible principal	14
Gráfico 1.3: Esquema bomba de inyección lineal	15
Gráfico 1.4: Vista de frente de la bomba de inyección lineal	16
Gráfico 1.5: Válvula de entrega	16
Gráfico 1.6: Ciclos de la combustión motor diesel de 4 tiempos	17
Gráfico 1.7: Posición de inyector de un motor diésel	17
Gráfico 1.8: constitución bomba de transferencia	19
Gráfico 1.9: Constitución de funcionamiento bomba de transferencia	20
Gráfico 1.10: Regulador de avance bomba lineal	21
Gráfico 1.11: Constitución regulador de avance a la inyección	22
Gráfico 1.12: Funcionamiento regulador de avance a la inyección	23
Gráfico 1.13: Contrapesos regulador de avance a la inyección	24
Gráfico 1.14: Regulador de velocidad	25
Gráfico 1.15: Despiece del regulador de velocidad	26
Gráfico 1.16: Esquema de regulador de velocidad	27
Gráfico 1.17: funcionamiento acción conductor	28
Gráfico 1.18: Desplazamiento masas rotantes	28
Gráfico 1.19: Partes del inyector de una bomba lineal	29
Gráfico 2.1: Camión 1954 GMC 630 con motor Diésel Detroit series 6l-71	32
Gráfico 2.2: alimentación de combustible	32
Gráfico 2.3: inyector diesel detroit	34
Gráfico 2.4: Despiece bomba inyector	36
Gráfico 2.5: Bomba de succión diesel detroit	37
Gráfico 2.6: Desglose de una bomba de Diésel.	37
Gráfico 2.7: Vista frontal de la bomba	38
Gráfico 2.8: Filtros de combustible	40
Gráfico 2.9: Governor mecánico	42
Gráfico 2.10: Governor hidráulico	43
Gráfico 2.11: Governor neumático	44
Gráfico 3.1: Serial bomba bosch pes4a50b410rs411	46
Tabla 3.1: Especificaciones bomba PES4A50B410RE411	47
Gráfico 3.2: Cuerpo inyección lineal	49

Gráfico 3.3: Posición cremallera	51
Gráfico 4.1: Torque motores 11.1 litros	54
Gráfico 4.2: inyector en motor 8v-71	54
Gráfico 4.3: Partes inyector diesel detroit 8v-71	56
Gráfico 4.4: modos inyección puntas inyectoras	58
Tabla 5.1: Cuadros de ensamble Bomba Lineal	65
Tabla 5.2: Presupuesto y constitución simulador bomba lineal	66
Tabla 6.1: Comparación caudales en 10 segundos	70
Tabla 6.1: Comparación caudales en 10 segundos	70
Tabla 6.2: Comparación caudales en 20 segundos	71
Gráfico 6.2: Comparación caudales en 20 segundos	72
Tabla 6.3: Comparación caudales en 30 segundos	73
Gráfico 6.3: Comparación caudales en 30 segundos	73
Tabla 6.4: Tabla de fotografías de pruebas de caudal en 10 segundos	76
Tabla 6.5: Tabla de fotografías de pruebas de caudal en 20 segundos	78
Tabla 6.6: Tabla de fotografías de pruebas de caudal en 30 segundos	80
Tabla 7.1: Costo simulador Detroit	84
Tabla 7.1: Tabla de construcción simulador Detroit	90
Tabla 8.1: Pruebas caudal carga baja	94
Gráfico 8.4: Pruebas simulador ralenti	94
Tabla 8.2: Pruebas caudal carga media	96
Gráfico 8.8: Pruebas simulador carga media	96
Tabla 8.3: Pruebas caudal carga máxima	98
Gráfico 8.13: Pruebas simulador carga alta	99
Gráfico 8.14: Consumo de combustible del sistema diesel Detroit 8v-71	100
Tabla 8.4: Visibilidad de inyección en diferentes cargas	101
Tabla 8.5: Visibilidad de inyección en diferentes cargas a diferentes velocidades	104

Capítulo I

1.1 Bomba de inyección diesel lineal

1.1.1 Bomba lineal

La bomba de inyección diesel lineal, fue creada a principios del siglo anterior por el famoso alemán Robert Bosch, y hasta la actualidad podemos seguir disponiendo de ella, claramente con sistemas de control electrónico que ayudan a que la inyección sea más dosificada a presiones altas.

Se la sigue encontrando en vehículos pesados o motores estacionarios, e incluso en algunos autos de turismo.

Esta bomba se caracteriza principalmente por su constitución externa, en donde fácilmente se la puede reconocer al notar que los impulsores, o mejor conocidos como inyectores, se encuentran uno a continuación de otro, formando una línea recta, por lo que se la conoce por bomba de inyección lineal. (Serrano, 2001)

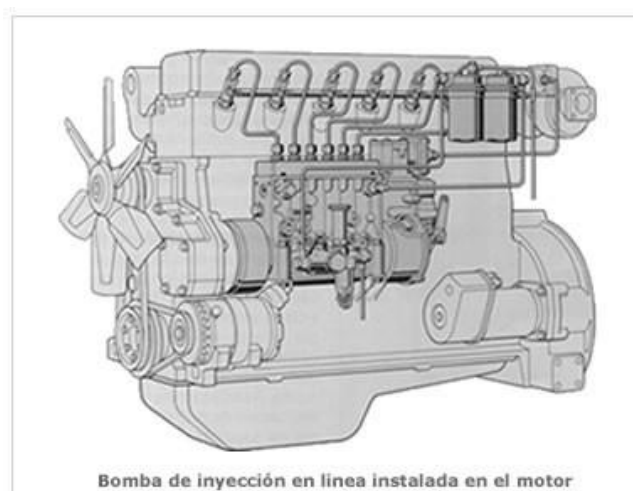


Gráfico 1.1: Bomba de inyección lineal
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

1.1.2 Constitución y funcionamiento

Básicamente los circuitos de alimentación y de inyección de combustible tienen los mismos componentes generales, así como un funcionamiento que difiere en detalles singularmente uno del otro.

En el caso de la bomba de inyección lineal diesel, el circuito de alimentación de combustible es el encargado de hacer llegar el diesel, mediante cañerías, hacia la bomba de inyección. Entre los componentes del circuito de suministro o de baja presión de combustible encontramos:

- **El depósito de combustible**, el cual se compone de una tapa especial y un orificio con malla metálica para evitar el ingreso de grandes impurezas al interior del tanque. Su función básica y primordial es almacenar el combustible.
- La bomba de transferencia o de alimentación es la encargada de aspirar el combustible del tanque o depósito y llevarlo hacia el interior de la bomba de inyección con una presión que varía entre 1 y 2 bar.
- **La válvula de descarga o desfogue** puede encontrarse en dos lugares dependiendo de la bomba de inyección. Esta puede estar sobre los filtros de combustible o sobre la bomba de inyección lineal. Tiene la función de controlar la presión de combustible en el circuito, abriéndose cuando esta presión excede los límites, permitiendo que el diesel retorne al depósito.
- **El filtro de combustible** es parte importante en la vida del sistema de inyección, ya que se encarga de retener las impurezas, sedimentos y agua que se puede encontrar en el diesel. Es por eso que se recomienda cada cierto recorrido

del automóvil, vaciar las trampas de agua de los filtros para evitar inconvenientes de combustión y de deterioro por oxidación del sistema.

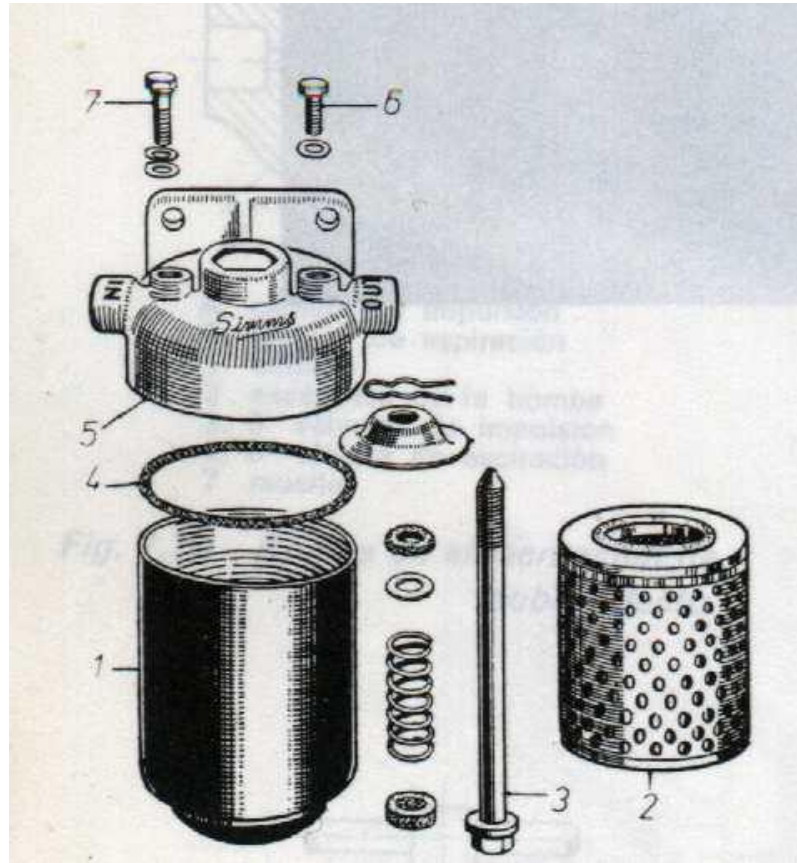


Gráfico 1.2 Partes del filtro de combustible principal

Fuente: http://es.slideshare.net/dj_jack/57510652bombasdeinyecciondiesellineal

1. Cuerpo
2. Cartucho
3. Tornillo central
4. Junta de goma
5. Tapa soporte
6. Tapón de purga
7. Tapón de cebado

• **El tornillo de sangrado o purgado** es el encargado de ayudar al sistema a vaciar el aire del sistema cuando este ha sido sometido a reparaciones o desarme. Así mismo, por las mismas características del combustible, este tiende a emanar vapores, los cuales ocupan parte del sistema en forma de gas; para aliviar este fenómeno se hace uso de del tornillo purgador.

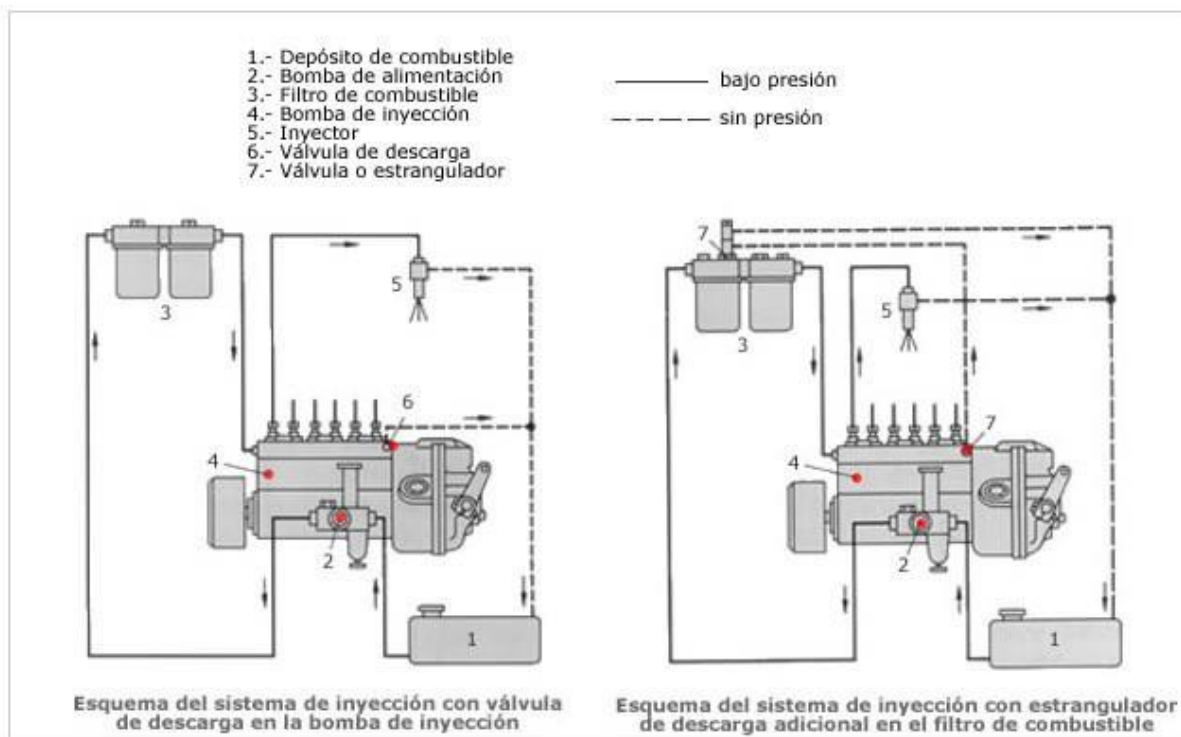


Gráfico 1.3: Esquema bomba de inyección lineal
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

1.1.2.1 Las principales funciones de la bomba lineal

- Elevar la presión de inyección.
- Dosificar el combustible según las necesidades del conductor.
- Regular la velocidad del motor.

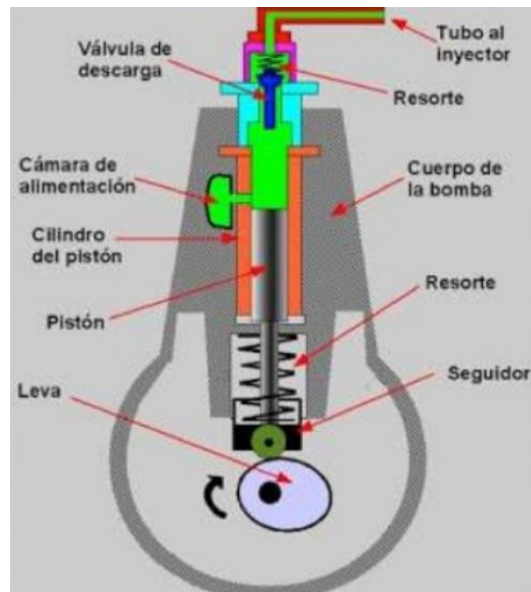


Gráfico 1.4: vista de frente de la bomba de inyección lineal
Fuente: <http://es.slideshare.net>

La válvula de entrega se encuentra en la parte superior de la bomba, tiene una sección paralela que actúa como un pistón pequeño, es una válvula de retención, al final de cada periodo de inyección se produce una caída baja de presión, la válvula se cierra con rapidez y así ayuda a que el sistema esté siempre lleno de combustible.

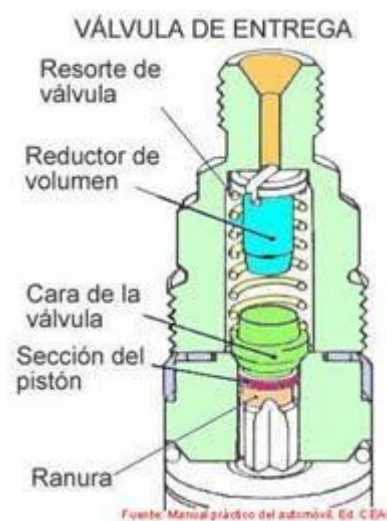


Gráfico 1.5 válvula de entrega
Fuente: <http://poke-sitemadeinyeccionlineal6a.blogspot.com/>

1.1.2.2 Ciclos de inyección de un motor a diésel

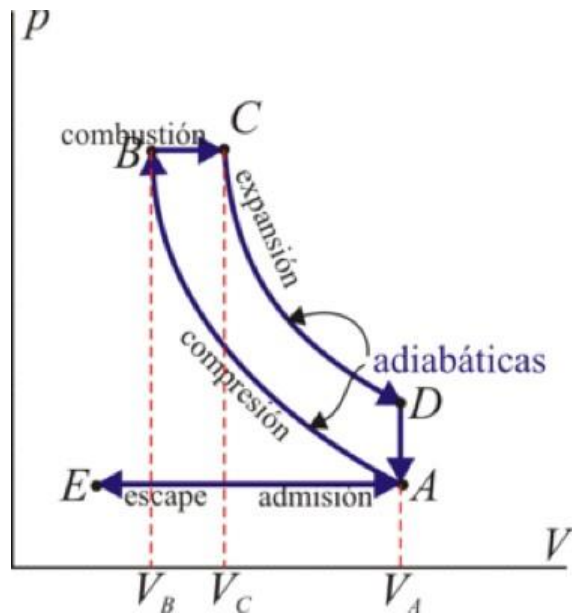


Gráfico 1.6: Ciclos de combustión motor diésel de 4 tiempos
Fuente: <http://es.slideshare.net>



Gráfico 1.7. Posición de inyector de un motor diésel
Fuente: <http://informaciona.com/bombas-inyectoras-lineales/>

- Admisión E-A: El pistón desciende mientras la válvula de admisión se mantiene abierta, por lo tanto el aire ingresa dentro del cilindro. Lo que se puede visualizar en el gráfico en que la presión se encuentra nula, pero el volumen se incrementa.
- Compresión A-B: Se puede observar que la presión asciende y el volumen se reduce. Esto gracias a que las válvulas se encuentran cerradas y el pistón sube.
- Combustión B-C: Las válvulas se mantienen cerradas, por lo que la presión mantiene su valor. El cambio producido es el aumento de volumen, obtenido por el ingreso de combustible al cilindro. En este tiempo se produce el autoencendido por las altas presiones y temperaturas en la cámara de combustión.
- Expansión A-D: Las válvulas siguen cerradas en las primeras instancias de este ciclo. Gracias a la explosión que se produce en la cabeza del pistón, este es empujado hacia abajo, aumentando el volumen del cilindro como se nota en el gráfico. De la misma manera la presión se reduce, ya que el pistón baja hacia el PMI y que la válvula de escape ha comenzado a abrirse para evacuar los gases combustionados.
- VE Abierta D-A: La válvula de escape se abre por completo, liberando de presión al cilindro.
- Escape A-E: En este punto con la válvula de escape abierta por completo, el pistón sube a PMS, expulsando los gases, reduciendo el volumen del cilindro.

1.1.2.3 Constitución y funcionamiento de la bomba de transferencia

La bomba de alimentación o de transferencia es la encargada de hacer llegar diesel a la bomba de inyección. Para cumplir su función a cabalidad, su construcción es muy específica al igual que sus componentes. (Serrano, 2001)

Esta bomba esta constituida de dos cámaras internas, que básicamente son aquellas conocidas como cámara de presión y cámara de admisión, con sus respectivas válvulas, de retención a ambos lados. Estas cámaras están separadas por un émbolo móvil, el cual, por la acción de una leva y consecuentemente de un pistón o émbolo, elevará la presión del combustible para enviarlo a los elementos de bombeo de la bomba principal.

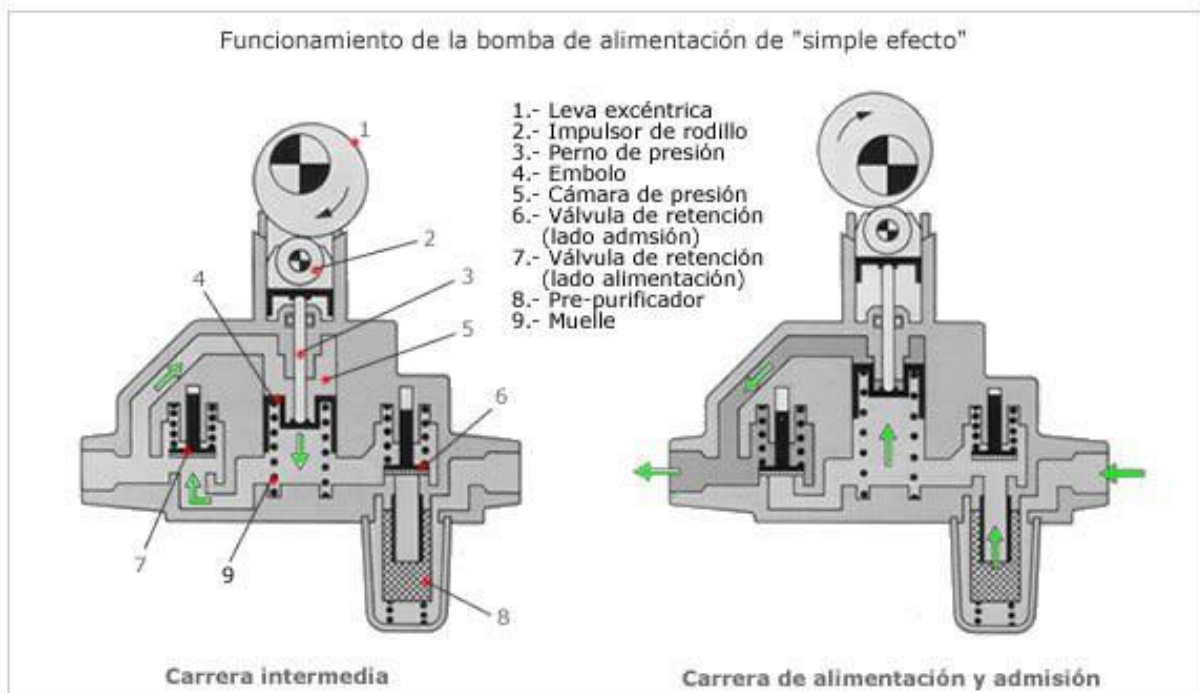


Gráfico 1.8: Constitución bomba de transferencia
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Adentrándonos más a lo que refiere al funcionamiento de la bomba de transferencia, esta tiene dos etapas de trabajo:

- **Carrera intermedia:** En esta etapa de funcionamiento, el combustible es introducido a la cámara de presión o de alimentación, gracias a la apertura de la válvula de retención de la cámara de admisión.
- **Carrera de admisión y alimentación (simultánea):** A diferencia de la carrera intermedia, en esta etapa ocurre un efecto de bombeo, en el cual, por una parte, el combustible alojado en la cámara de presión, es enviado hacia la bomba de inyección; mientras que el combustible es succionado desde el depósito hacia el interior de la bomba para ser almacenado nuevamente en la cámara de presión y repetir el proceso nuevamente. Todo esto dado por efecto del émbolo.

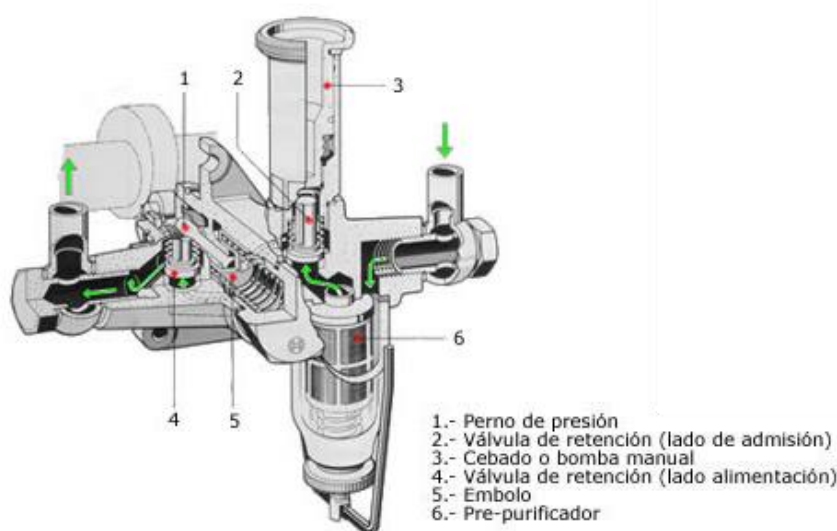


Gráfico 1.9: constitución de funcionamiento bomba de transferencia
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

1.1.2.4 Regulador de avance a la inyección

La bomba lineal a diesel, al encontrarse montada en un vehículo, posee diferentes sistemas que le ayudan a mejorar el desempeño del motor, surtiendo una dosificación de combustible correcta, en el tiempo que marcha que el vehículo se encuentre. Es por eso que se hace uso del regulador de avance a la inyección.

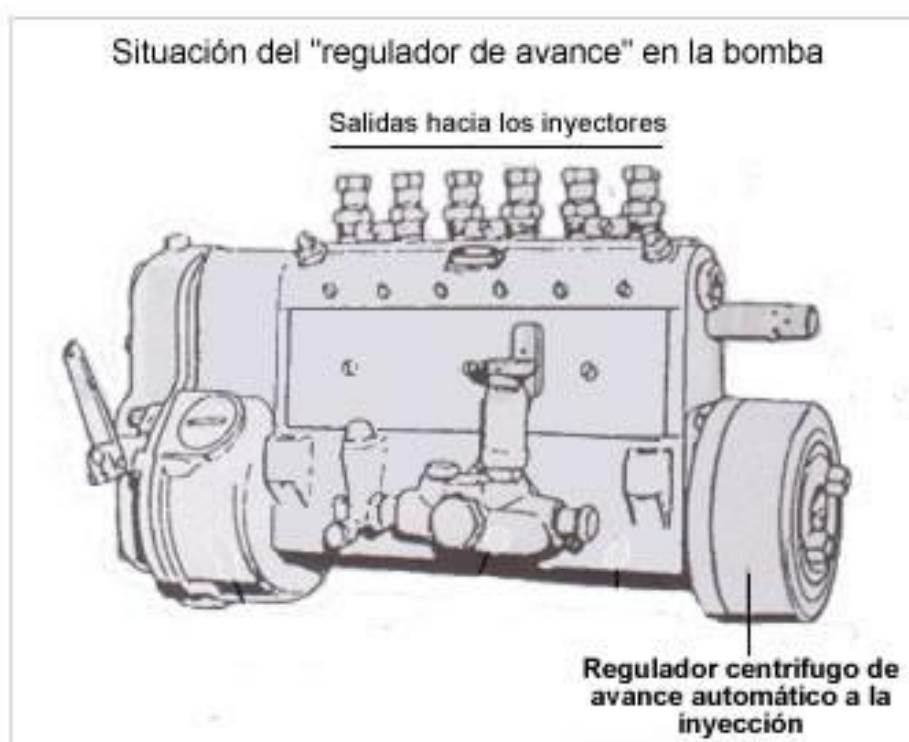


Gráfico 1.10: regulador de avance bomba lineal
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

El regulador de avance a la inyección viene a cubrir el déficit de los motores diesel, en donde a diferencia de un motor a gasolina, no se encuentran bujías eléctricas, por ende no se habla de un avance al salto de chispa, causado por la variación en los grados del distribuidor. (Serrano, 2001). En los motores diesel, el inicio de la combustión se lleva a lugar cuando este se inyecta en el cilindro del motor directamente; concluyendo que la encargada de variar la inyección es la bomba lineal.

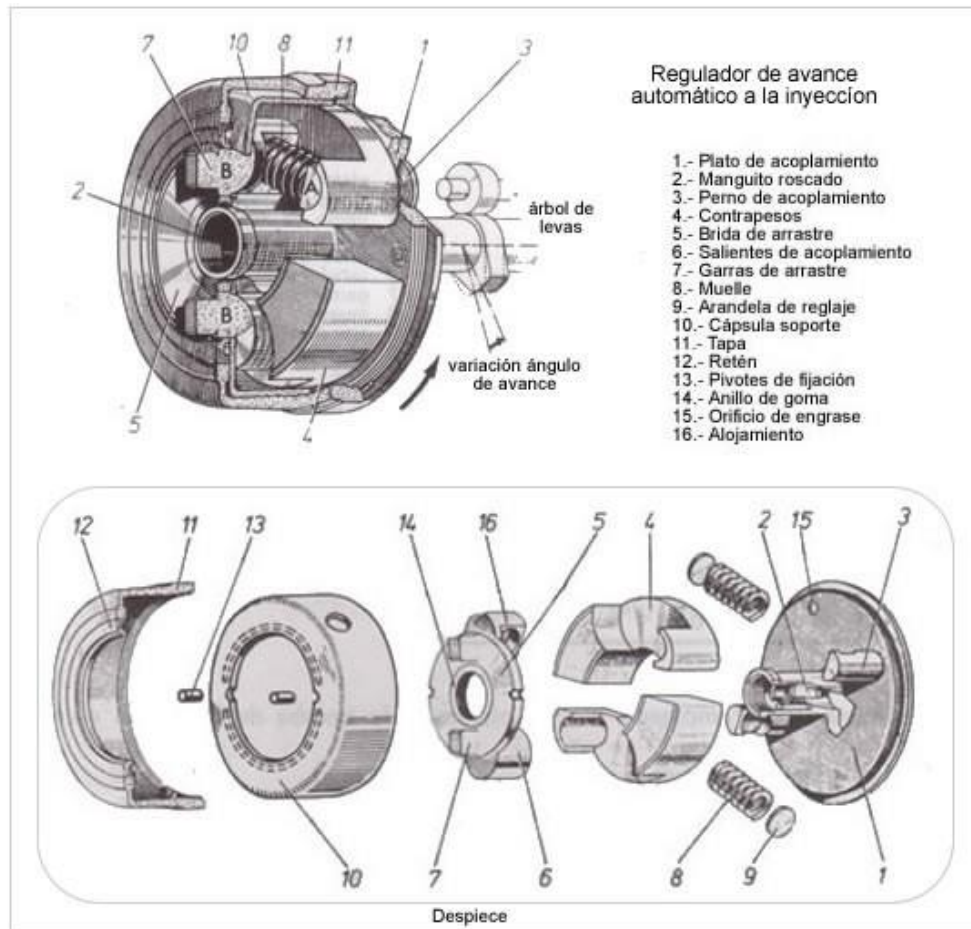


Gráfico 1.11: constitución regulador de avance a la inyección
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

El elemento encargado de llevar esto a cabo es el regulador de avance a la inyección. Este elemento interviene por la necesidad de que el combustible, al ser inyectado e introducido en el motor, necesita un tiempo (submúltiplos del segundo) para inflamarse y producir la expansión. Este fenómeno se lo conoce como retardo al encendido, y puede variar según las siguientes causas:

- Capacidad de inflamación del combustible.
- Relación de compresión.
- Temperatura del aire.

- Pulverización del combustible.
- Relación mezcla.

Todo esto se puede cambiar y notar a altas RPM, lo cual va a hacer que el motor tenga un desempeño erróneo. Es por esto que se incorpora un regulador de avance a la inyección en bombas lineales.

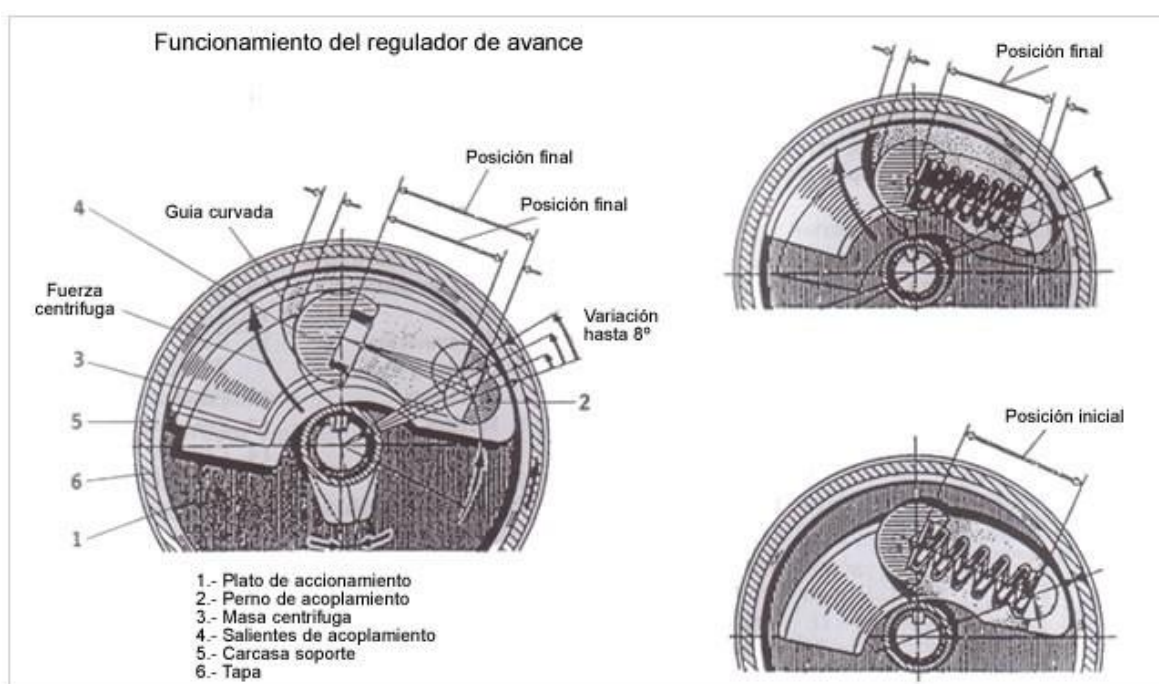


Gráfico 1.12: Funcionamiento regulador de avance a la inyección
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

1.1.2.5 Constitución y funcionamiento del regulador de avance a la inyección

El funcionamiento del regulador tiene como base fundamental el movimiento circular, que es directamente proporcional con el número de revoluciones del motor, es decir, cuando el motor aumenta de velocidad, por efecto la fuerza centrífuga, que surge por los contrapesos del sistema de avance, se comienzan a desplazarse hacia el exterior, empujando a los llamados salientes alojados en la brida de mando, comprimiendo los muelles, por lo que resulta un efecto disminución del ángulo de acoplamiento en la brida de arrastre.

Cabe recalcar que la brida de arrastre esta fijamente sujeta al sistema, ya que está una a la transmisión del motor. En este caso, los pernos de acoplamiento entran en juego, y se desplazan en el sentido de avance de la bomba. Gracias a ello, se logra arrastrar el plato de acoplamiento con el árbol de levas, dando el adelanto de las levas. (Serrano, 2001)

Dando un pequeño resumen del funcionamiento, se tiene que recalcar que el conjunto del avance a la inyección esta acoplado directamente, por medio del plato de acoplamiento, al árbol de levas de la bomba de inyección lineal por medio de una excéntrica. Cuando la velocidad varía, el sistema comienza su trabajo mecánico y los contrapesos se abren en dirección opuesta a la fuerza de los muelles, teniendo como eje fijo los pernos de acoplamiento, efectuando el movimiento de la brida de avance, generando una variación de alrededor de 8 grados en el árbol de levas.

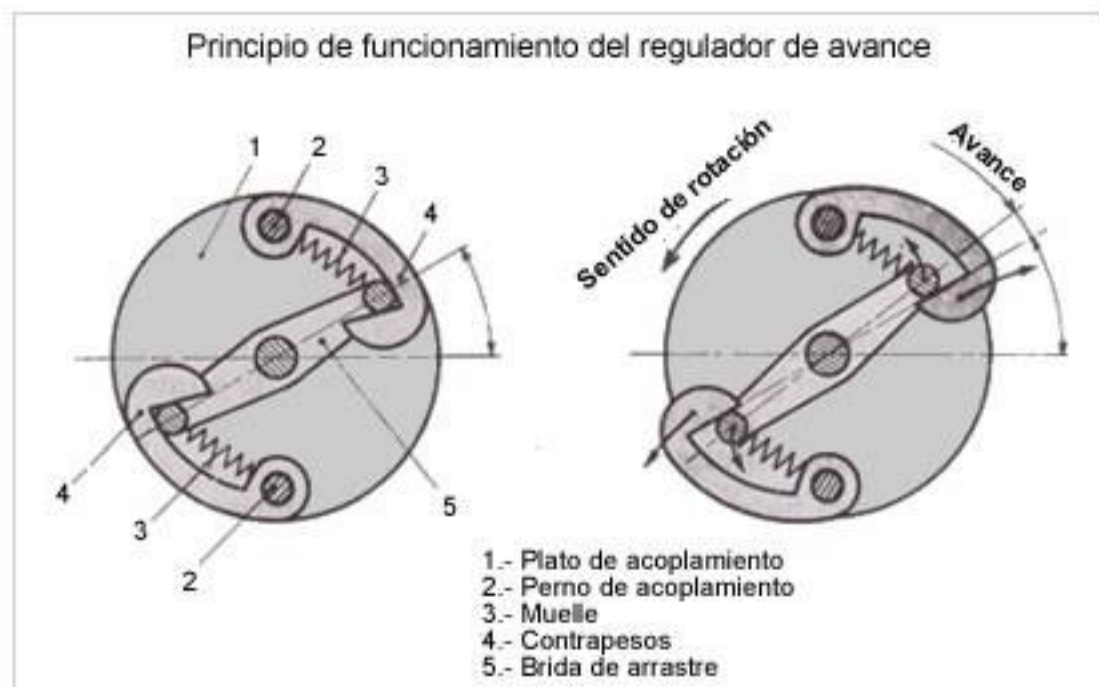


Gráfico 1.13: Contrapesos regulador de avance a la inyección
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

1.1.2.6 Regulador de velocidad

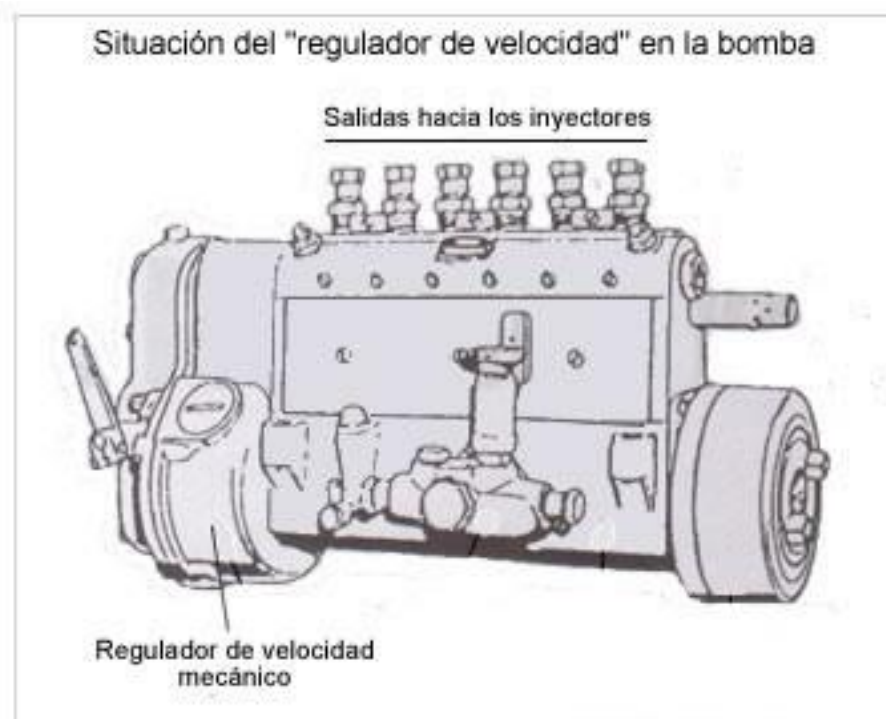


Gráfico 1.14: Regulador de velocidad
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Así mismo como se habló del regulador de avance a la inyección, el regulador de velocidad es un mecanismo que ayuda a que el vehículo tenga un mejor desempeño y desarrollo cuando se encuentra en funcionamiento.

En lo que respecta a este mecanismo, tiene la misión de regular la velocidad llamada máxima y mínima del motor cuando el par o torque disminuye o cuando se hace un trabajo de vacío, que en otras palabras lo podemos entender cuando el motor se encuentra en una bajada. Este sistema actúa directamente sobre la cremallera de la bomba lineal y ayuda a dosificar el combustible entregado en las situaciones antes expuestas.

El regulador de velocidad actúa inversamente proporcional a como actuaría el pedal del acelerador, es decir, cuando se pisa a fondo el pedal del acelerador, la cremallera reguladora se encuentra en posición de plena carga; por otro lado, cuando el regulador de velocidad entra en juego, el auto puede estarse moviendo de tal manera que las revoluciones del motor este indicando plena carga (el caso de la bajada o pendiente), sin embargo el regulador modifica la posición de la cremallera para dosificar mejor el combustible y nos desperdiciarlo. En otras palabras, en la detallada situación, el regulador de carga junto con la cremallera actuarían inversamente proporcional a las revoluciones del motor. (Serrano, 2001)

1.1.2.7 Constitución y funcionamiento del regulador de velocidad

El regulador de velocidad basa su funcionamiento en la fuerza centrífuga por medio de contrapesos que se encuentran en el conjunto. Dichos contrapesos se encuentra acoplados al árbol de levas de la bomba de inyección, por ende cuando este aumente de velocidad, las contrapesos se desplazarán hacia el exterior.

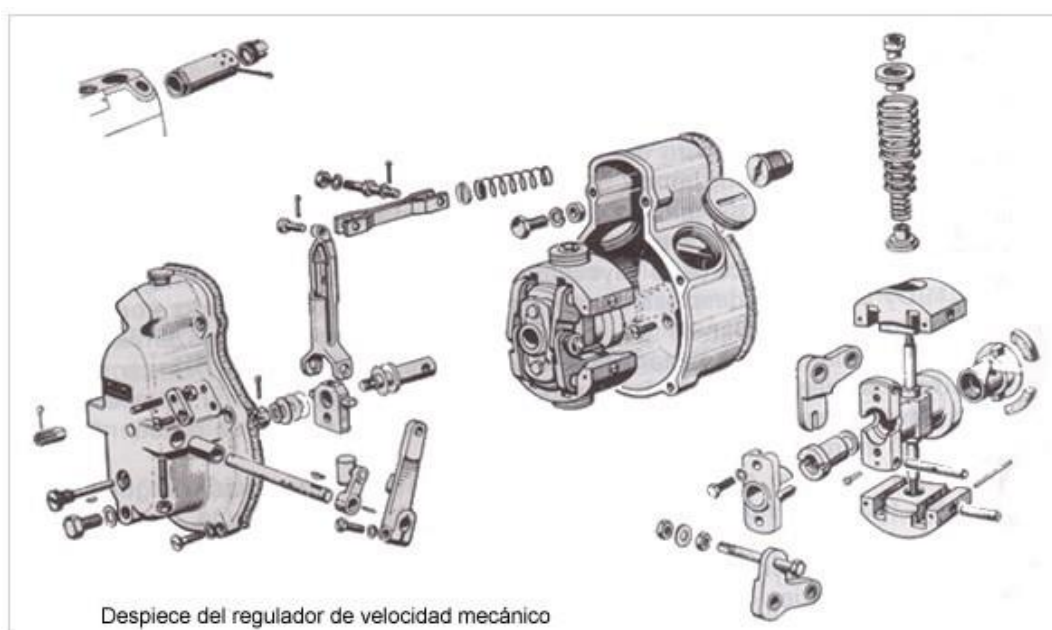


Gráfico 1.15: Despiece del regulador de velocidad
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Cuando los contrapesos están en desplazamiento gracias a la fuerza centrífuga, una serie de palancas que se encuentran acopladas por un extremo a las mismas, y el otro a la cremallera reguladora, iniciarán su movimiento, dando como consecuencia la regulación del caudal de combustible entregado.

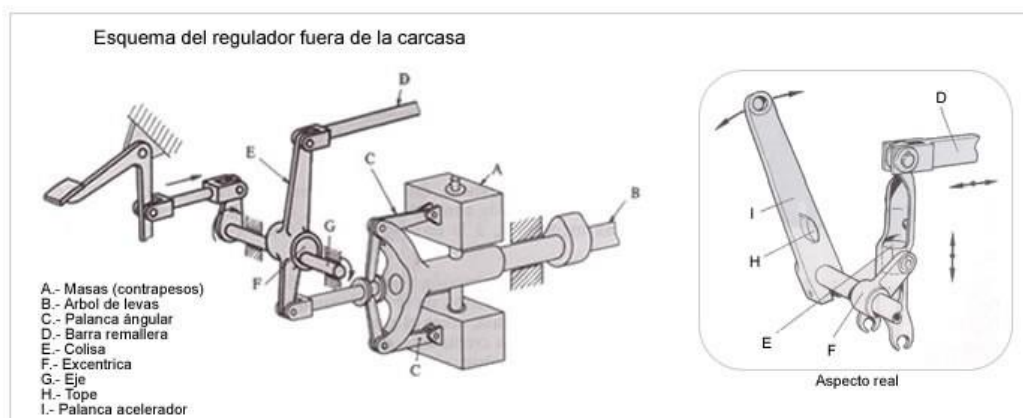


Gráfico 1.16: Esquema del regulador de velocidad
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

La regulación de combustible puede ser efectuada de dos maneras: Por el conductor directamente o por acción del regulador de velocidad.

Si hablamos por acción de conductor, el funcionamiento entra a cabo cuando se aprieta el pedal de aceleración; en dicho momento se hace girar a la excéntrica por medio del eje, conectado directamente al pedal; este movimiento efectúa el desplazamiento de la cremallera por medio de una palanca. La cremallera transmite el movimiento a los pistones del cuerpo de inyección de la bomba, aumentando el caudal de combustible a entregar. (Kates & William, 1982)

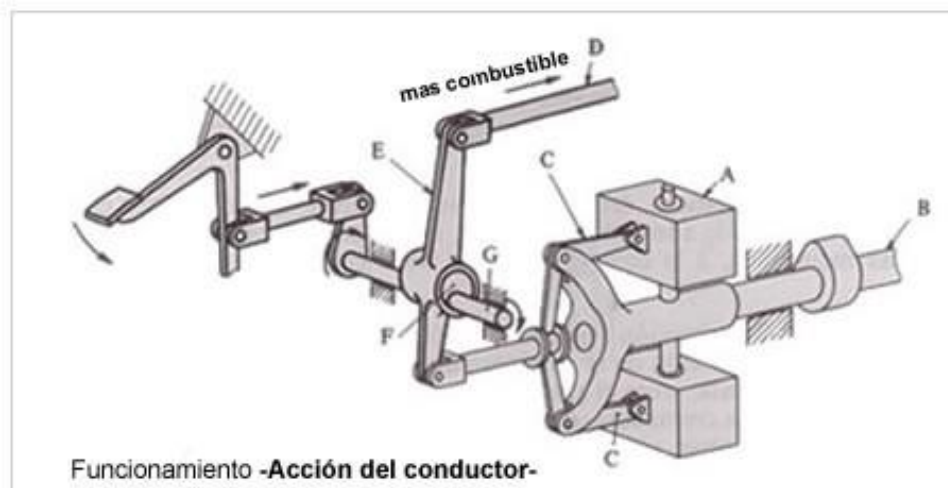


Gráfico 1.17: Funcionamiento acción conductor
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Por otra parte, cuando se acciona el regulador de velocidad, este se encargará de mover a la cremallera en cualquier sentido, independientemente de la acción sobre el pedal de aceleración, gracias a los contrapesos centrífugos y los muelles que se encuentran en su interior. Cabe destacar nuevamente que esto se aplica en velocidades mínimas y máximas, dando como explicación a carga mínima como ralenti.

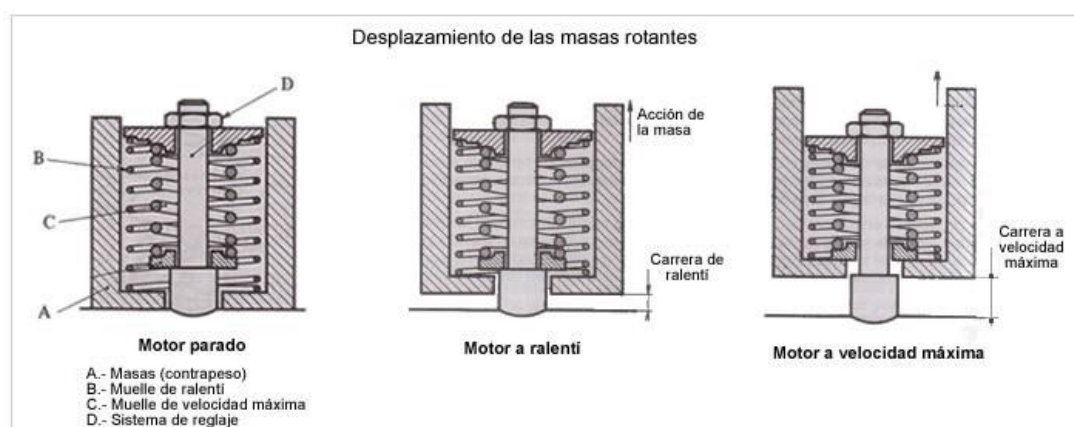


Gráfico 1.18: Desplazamiento masas rotantes
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

1.1.2.8 Constitución y funcionamiento de los inyectores

Los inyectores son el elemento final de la bomba de inyección, ya que son los encargados de introducir el combustible y pulverizarlo dentro de la cámara de combustión.

El inyector está constituido por:

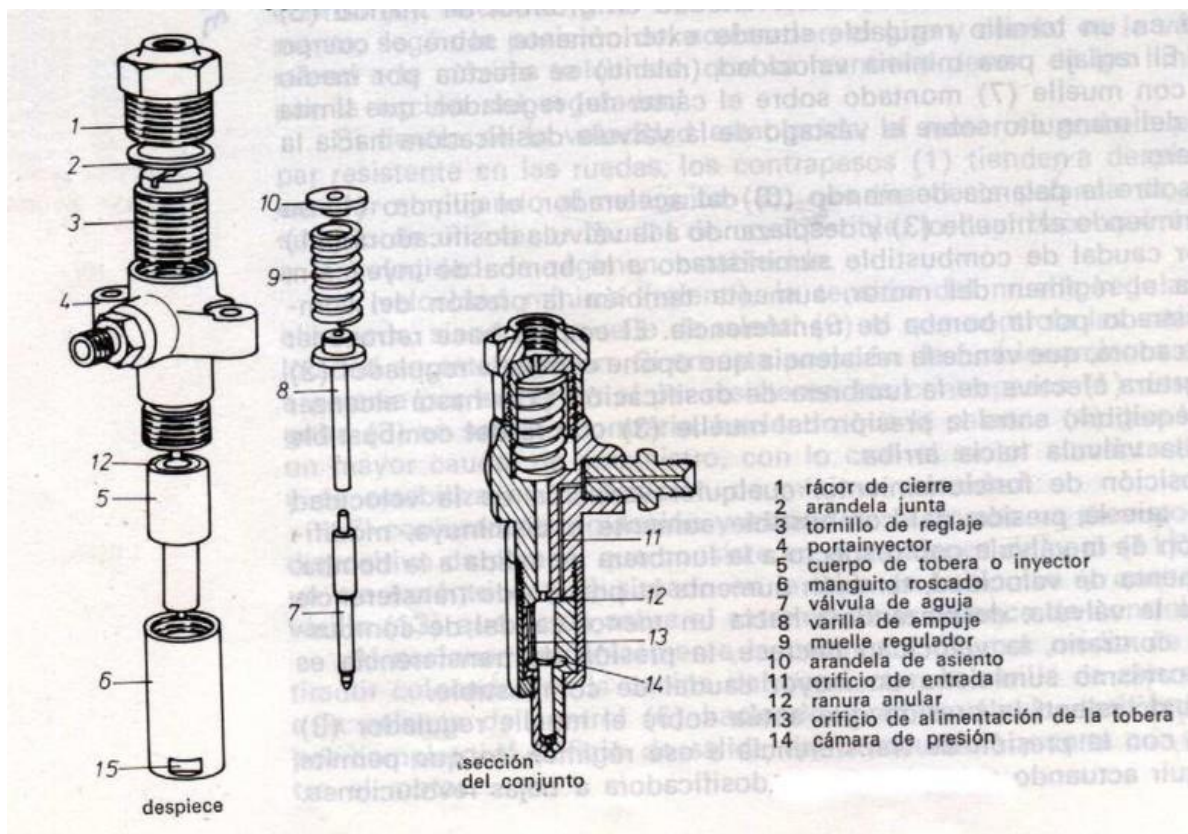


Gráfico 1.19: Partes del inyector de una bomba lineal

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

- Racor de cierre: Es un elemento que cierra y mantiene hermetizado el inyector. Está ubicado en la parte superior del mismo.
- Tornillo de reglaje: Ayuda a regular la cantidad de combustible.
- Porta inyector: Carcaza.

- Manguito roscado: Almacena en su interior a la punta del inyector con su cuerpo.
- Varilla de empuje: Encargado de recibir el combustible a presión y ser la articulación que conecta a la válvula de aguja o punta del inyector con el muelle regulador.
- Orificio de entrada: Orificio que por donde el combustible entra hacia la cámara de presión.
- Orificio de alimentación: orificio por donde el combustible pasa hacia la punta del inyector.

Capítulo II

2.1 Sistema de inyección Detroit o Bomba Inyector

2.1.1 Sistema de inyección Detroit dos tiempos, series 16-71, V871, 12V71, 8V92

El sistema de inyección Detroit series I6-71, V8-71, 12V71, 8V-92 fueron contruidos en 1938, en un motor Diésel de dos tiempos, con distribución de cilindros en línea, en 1957 fue introducido el primer sistema de inyección Detroit Diésel con distribución de cilindros en V. (college, s.f.) Los dos sistemas usaban motores Diésel de dos tiempo, en 1991 se prohibió su fabricación por no ser amigables con el medio ambiente, pero desde ahí se comenzó la fabricación del sistema Diésel Detroit 60 con control electrónico y con motor de cuatro tiempos

Cada cilindro tiene su propio inyector, el cual es accionado por un árbol de levas. Cada inyector tiene el trabajo de inyectar combustible a alta presión y con una buena pulverización. La presión que sale de la bomba de combustible es de 30 a 70 PSI, (200 kPa - 470 kPa) y la presión que ejerce el inyector en trabajo es de 800 a 2200 PSI. (college, s.f.)

Este sistema a pesar que ya no se fabrica es muy cotizado por coleccionistas porque tener un sonido muy peculiar y ser motor Diésel de dos tiempos, amas de haber marcado una época importante en el crecimiento económico de los Estados Unidos. (Engine, Technomania, 2013)



Gráfico 2.1: Camión 1954 GMC 630 con motor Diésel Detroit series 6L-71
Fuente: <http://www.yesterdaystruck.com/>

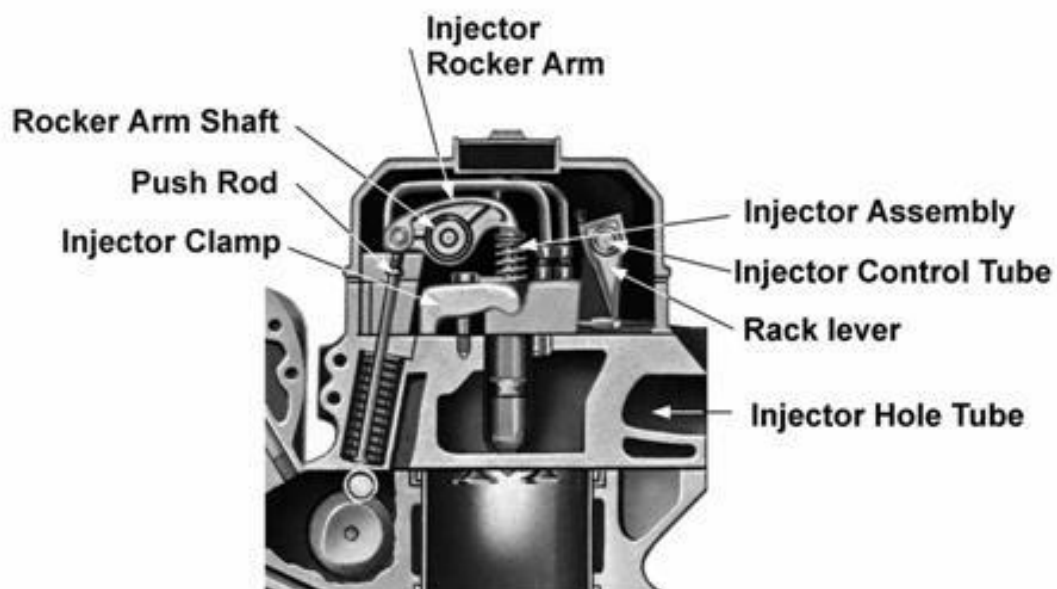


Gráfico 2.2: alimentación de combustible
Fuente: www.volvodemort.com

Los sistemas 71 y 92 son más simples que el sistema 60 con control electrónico, ya que estos que no disponen de módulos electrónicos, causa por la cual son menos eficientes al momento de regular la cantidad de combustible a inyectar.

Primero el combustible Diésel es succionado del tanque de combustible por medio de una bomba de piñones, el primer paso del combustible es un filtro del mismo el cual tiene una trampa de agua, después pasa por un segundo filtro para limpiar de impurezas que puedan afectar al sistema.

El combustible llega a los inyectores con una presión de 30-70 PSI. (Army, s.f.)

Un árbol de levas acciona los inyectores pulverizando el combustible en cada cilindro, el combustible sale con presión de 800 a 2200 PSI, para regular el caudal de combustible los inyectores tienen cremalleras con los cuales se pueden regular desde el pedal del acelerador.

2.1.2 Inyector sistema Detroit series I6-71, V8-71, 12V71, 8V-92

Este tipo de inyectores fueron introducidos a finales de los años 30's, combina la tecnología de una bomba, más la tecnología de un inyector para su funcionamiento, por eso se llaman bomba inyector, el inyector da una presión de 800 PSI en el momento de la inyección los inyectores de última tecnología que salieron en 1980, pueden dar una presión de hasta 2200-3200 PSI. (college, s.f.)

El émbolo se mueve libremente dentro del casquillo, el sistema es accionado por el árbol de levas el cual es accionado por el cigüeñal.

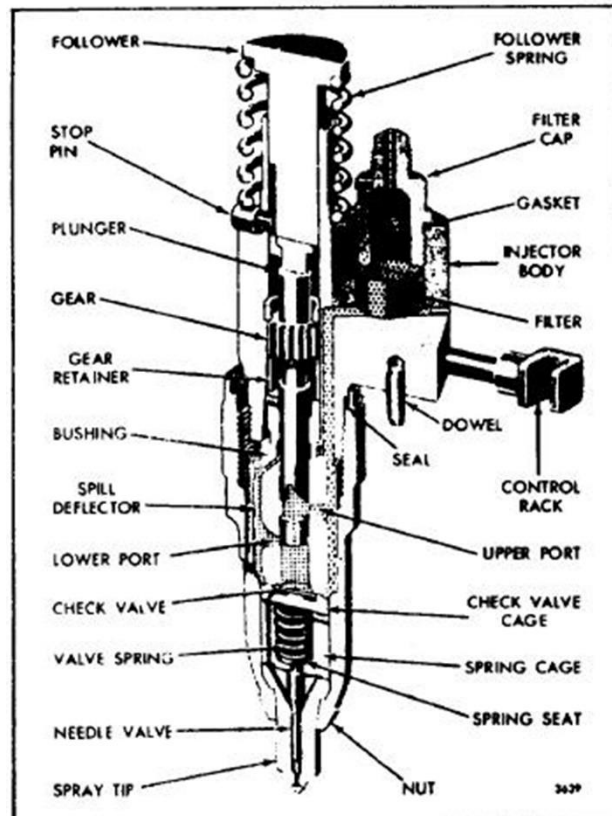


Gráfico 2.3: inyector diesel detroit
Fuente: hmch.wordpress.com

2.1.3 Operación de la bomba de combustible

1. El combustible es succionado por la bomba de piñones este procedimiento llena de Diésel los canales de todo el sistema de inyección.
2. Cuando el sistema esta con combustible el árbol de levas encima de la cabeza del inyector acciona el mecanismo, la punta inyectora presiona y pulveriza el Diésel con fuerza, el mismo se mezcla con el aire en la cabeza del pistón.
3. Cuando el combustible se está inyectando en la cámara, por medio de compresión establece autoencendido y así el sistema tiene suficiente energía para funcionar, ahora se establece puntos de cuanto combustible necesita

inyectar en la cámara de compresión para tener un recorrido uniforme a la velocidad solicitada.

2.1.4 Piezas principales de la bomba inyector

- Cremallera: Para controlar la cantidad de combustible que debe entrar se usa el control de cremallera de aceleración, la cual nos permite que entre más cantidad de combustible o menos.
- Seguidor: es un mecanismo que sirve para mantener el émbolo en posición de carga.
- Émbolo: Está dentro de un casquillo estacionario, es el componente de bombeo de combustible.
- Buje: Alojamiento cilíndrico el cual el émbolo se mueve en vaivén.
- Piñón dentado: donde la cremallera mueve el émbolo para poder regular el combustible.
- Control jack o cremallera: Con la cual podemos regular la cantidad de combustible deseado.
- Derrame deflector: es una abertura al lado del inyector el cual sirve para devolver el exceso de combustible.

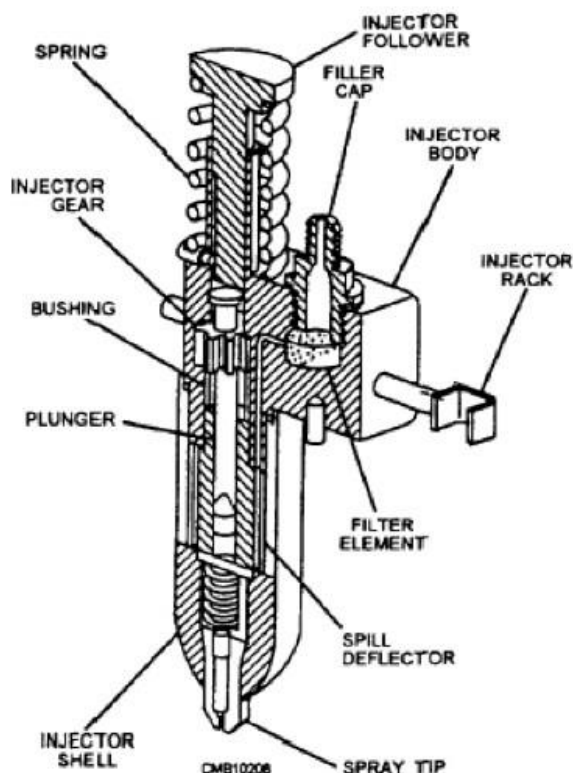


Figure 5-25.—Unit injector.

Gráfico 2.4: Despiece bomba inyector
Fuente: <http://www.sweethaven02.com>

2.1.5 Bomba de combustible

La bomba de combustible tiene dos funciones principales, la primera es transferir el Diésel hacia los inyectores, el combustible tiene que ser enviado a una presión considerable porque antes de que llegue a suministrar los inyectores tiene que pasar por dos filtros, las bombas de combustible tienen una fuerza de 70 PSI. (Army, s.f.) La otra función es de lubricar a los inyectores, los mismos trabajan a temperaturas altas, y están expuestas sobre el motor el cual por medio de transferencia de calor del metal se calientan, entonces el Diésel por tener estructura líquida ayuda a mantener una temperatura de trabajo estable. (Army, s.f.)

La bomba no se encarga de regular la cantidad exacta de combustible que necesita el inyector, entonces cuando el inyector pulveriza el combustible necesario para la cámara de compresión lo que no se utiliza se devuelve al tanque de combustible y la fuerza para enviarlo de regreso también proviene de la misma bomba.

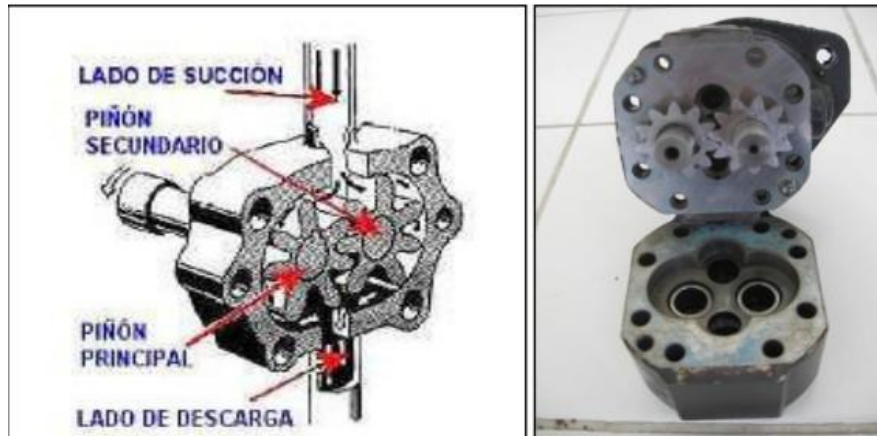


Gráfico 2.5: Bomba de succión diesel detroit

Fuente: <http://www.waybuilder.net>

2.1.5.1 Constitución de la bomba de combustible

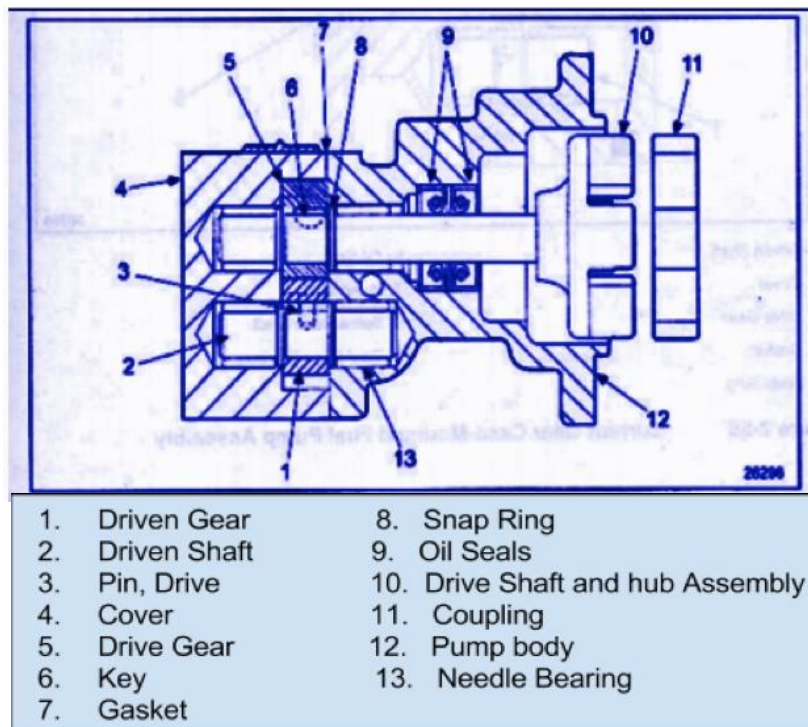


Gráfico 2.6: Desglose de una bomba de Diésel.

Fuente: <http://www.waybuilder.net>

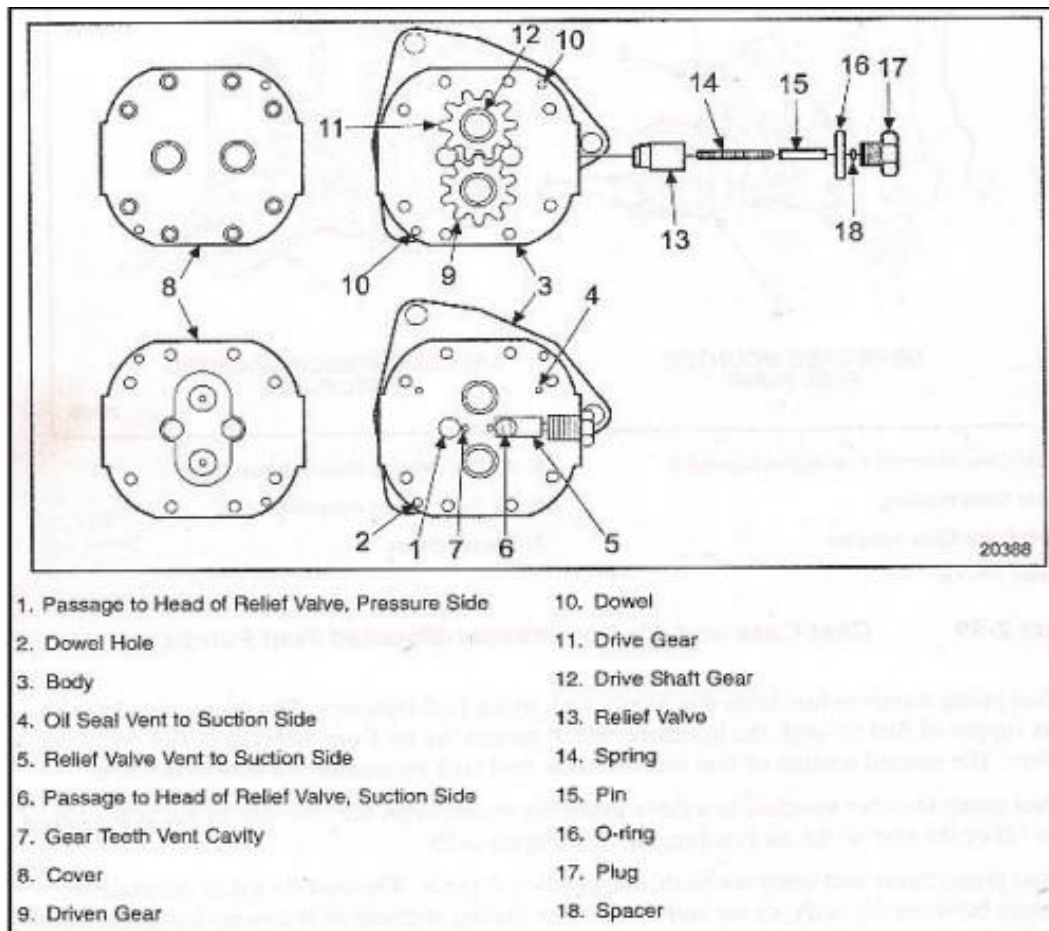


Gráfico 2.7: Vista frontal de la bomba

Fuente: <http://www.waybuilder.net>

- Cuerpo de la bomba (Body): la bomba va adherida al eje del compresor, así la fuerza del compresor se transmite a la bomba para su funcionamiento
- Válvula de alivio de presión (Relief Valve): la válvula de alivio de presión es un mecanismo de seguridad, para cuando existe mucha presión en el sistema.
- Cabeza de la válvula de alivio (Passage to head of Relief Valve, Suction Side): los conductos de la tapa de la bomba conducen la presión a este sistema.
- Cavity dientes de engranajes (Gear teeth vent cavity): junto a cada conjunto se encuentra la cavity de dientes de engranaje

- Válvula de alivio del lado de succión (relief valve vent to suction side): es un orificio dentro de la válvula de alivio en un conducto, el cual sirve para mantener al mecanismo refrigerado.
- Respiradero del sello de combustible (Oil seal vent to suction side): este respiradero permite que el conductor este lubricado en el lugar del retenedor interno de la bomba.
- Engranaje conductor (Drive gear): lo encontramos en el eje conductor, el cual con la manzana de ensamblaje son una sola pieza.
- Engranaje conducido (Driven gear): el engranaje conductor transmite el movimiento al engranaje conducido.
- Chaveta (key): los piñones se unen al eje por medio de esta chaveta.
- Seguros media luna (Snap Ring): los piñones y la chaveta van sujetados por medio de este seguro el cual brinda gran seguridad a toda carga.
- Resorte (spring), (pin) y el conjunto (plug): el resorte ayuda a calibrar el porcentaje de resistencia que debe tener la válvula de alivio para que se habrá a determinada presión, el mismo que va sujeto a un pin metálico, y todo esto es el conjunto el cual se asienta al cuerpo de la bomba.

2.1.6 Filtros de combustible

En todo sistema Diésel Detroit existen dos filtros de combustible, el primero es un filtro colador el cual también sirve como trampa de agua, y el segundo es un filtro de impurezas.

El filtro primario tiene una rosca de 1"x 12, y la rosca del filtro secundario tiene una rosca de 13/16"x 12, eso nos ayuda para evitar confusiones al momento del ensamblaje.

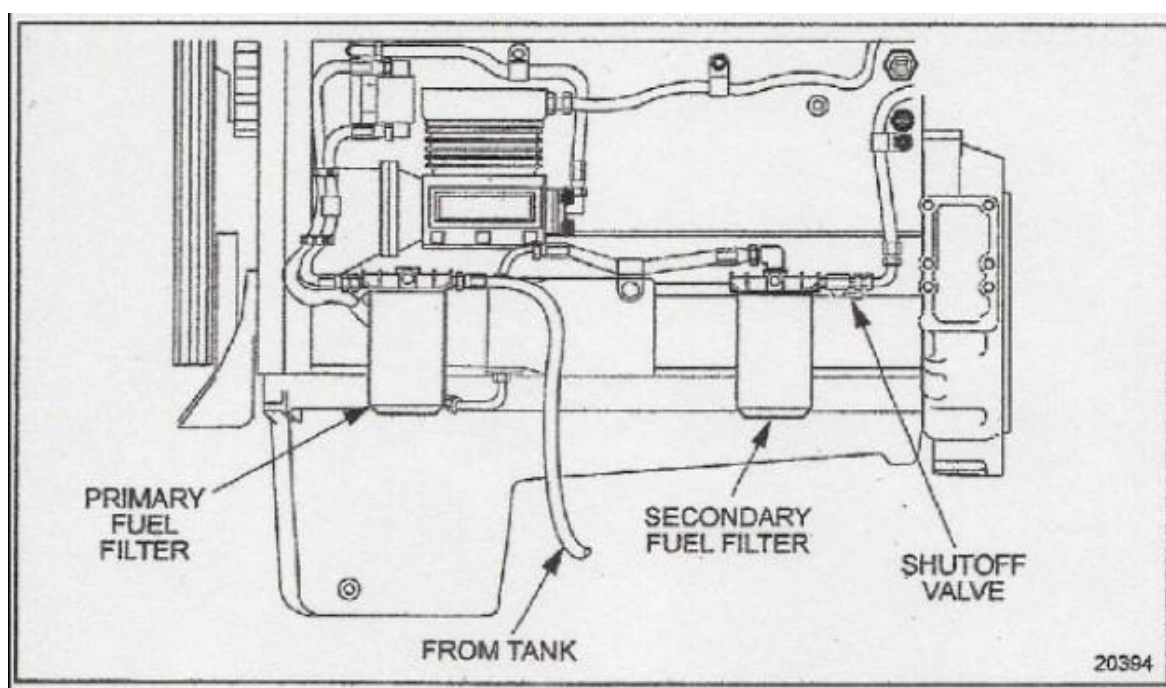


Gráfico 2.8: Filtros de combustible

Fuente: <http://www.waybuilder.net>

La función principal de los filtros es evitar que las impurezas lleguen a dañar los sistemas del inyector, también es importante recalcar que en los sistemas que utilizan combustible Diésel es muy importante que no exista agua, la cual aparece en el sistema por medio de la condensación, entonces para ello se coloca una trampa de agua en el filtro. Si hay impurezas en el sistema podemos tener algunos problemas como los siguientes.

1. Por las impurezas que entran en el sistema, la cantidad de Diésel que pasan por las vías de transporte se limita y tenemos un rendimiento más bajo.
2. Por las impurezas los sistemas se desgastan de forma más rápida, porque necesitan mayor esfuerzo para poder transportar el Diésel.
3. Igualmente por las impurezas se tiene un rendimiento distinto a las especificaciones estándar del sistema, por esto los sellos de combustible funcionan en condiciones anormales y causan fugas de Diésel.
4. Por las impurezas la refrigeración va a disminuir y el sistema se calentara más de lo normal esto hace que el combustible también suba de temperatura, el combustible a alta temperatura va a dar una menor eficiencia al motor.

2.1.7 Governor

Cuando estamos a una cierta velocidad, el sistema de inyección necesita más combustible, ahí es cuando el Governor cumple su cometido, el Governor es un sistema mecánico que trabaja por medio de fuerza centrífuga, cuando estamos a altas velocidades jala la cremallera de aceleración e inyecta más combustible de forma automática. (college, s.f.)

Existen Governor de limitador de velocidad, es un sistema que igual implementa la fuerza centrífuga y cuando la velocidad excede lo recomendable se abre una válvula la cual impide el paso de combustible hasta que la velocidad y la fuerza centrífuga pare.

Tenemos tres tipos de Governor:

- **Governor Mecánico de velocidad variable:** Cuando la velocidad aumenta la fuerza centrífuga es tan grande que mueve todo el mecanismo hacia otra posición el mismo que mueve la cremallera de aceleración para inyectar más combustible. (Army, s.f.)

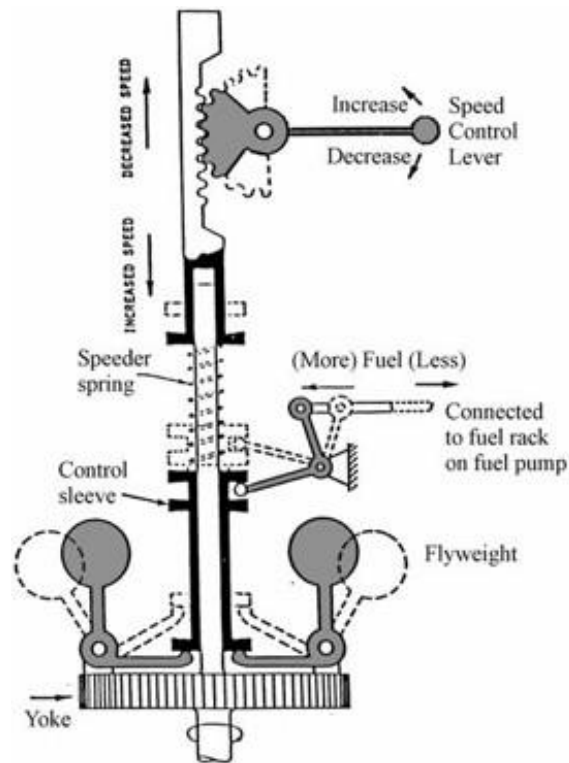


Gráfico 2.9: Gobernador mecánico
Fuente: <http://www.splashmaritime.com.au>

- **Governor de variación hidráulico:** Cuando la aceleración logra alzar las (flyweight) por la fuerza centrífuga permite que líquido hidráulico ayude a levantar el émbolo el cual presionará otro émbolo para aumentar la inyección de combustible, a diferencia con el dispositivo anterior este tiene mayor exactitud cuándo se inyecta más combustible, no solo cuando se inyecte si no también cuando deje de hacerlo, el retorno del émbolo no será de forma brusca, y así se da una mejor marcha.

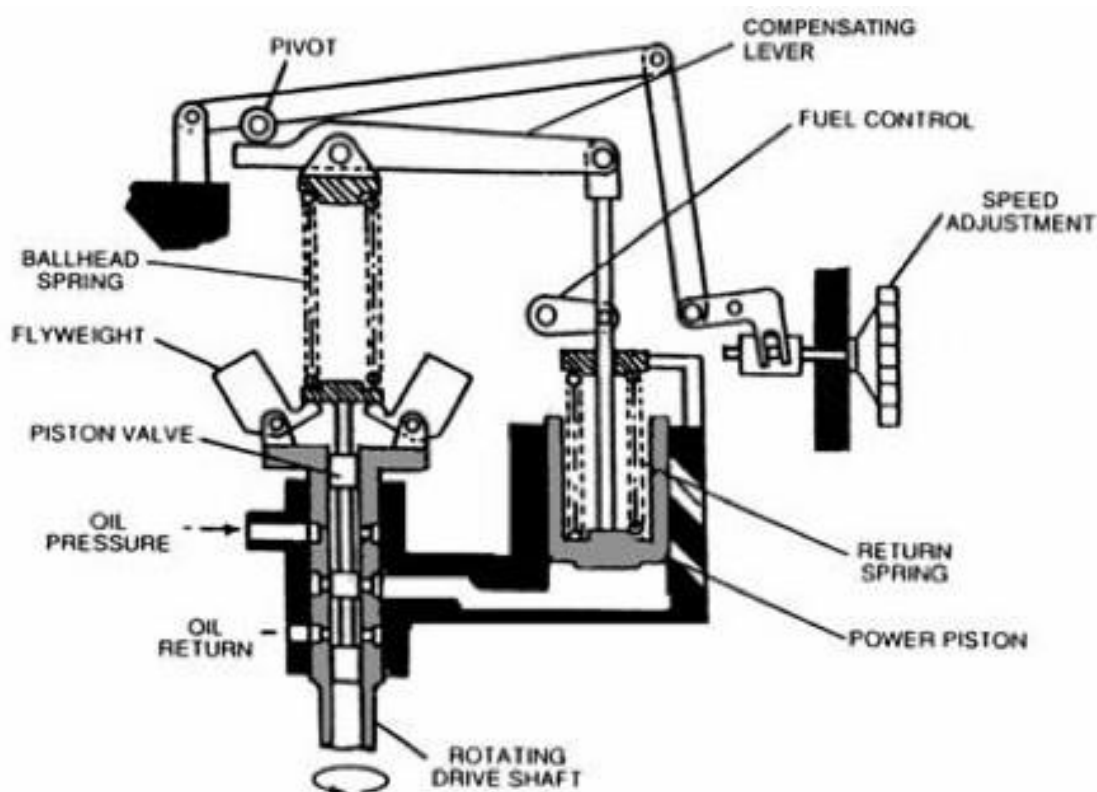


Gráfico 2.10: Gobernador hidráulico
Fuente: <http://www.splashmaritime.com.au>

- **Gobernador de variación Neumático:** Este tipo de Gobernador es el único que no funciona por fuerza centrífuga si no por vacío, cuando el motor está en marcha se crea un vacío en el sistema, en la aleta de aceleración se encuentra una manguera de vacío, cuando el motor hace vacío suficiente chupa todo el aire que hay en la manguera, esta manguera está unida a un sistema hermético con un resorte, cuando no hay aire en la manguera el mismo vence la tensión del resorte, el resorte está conectado a la varilla de aceleración, cuando se mueve a la varilla y así se inyecta más combustible, cuando el auto desacelera el proceso se revierte.

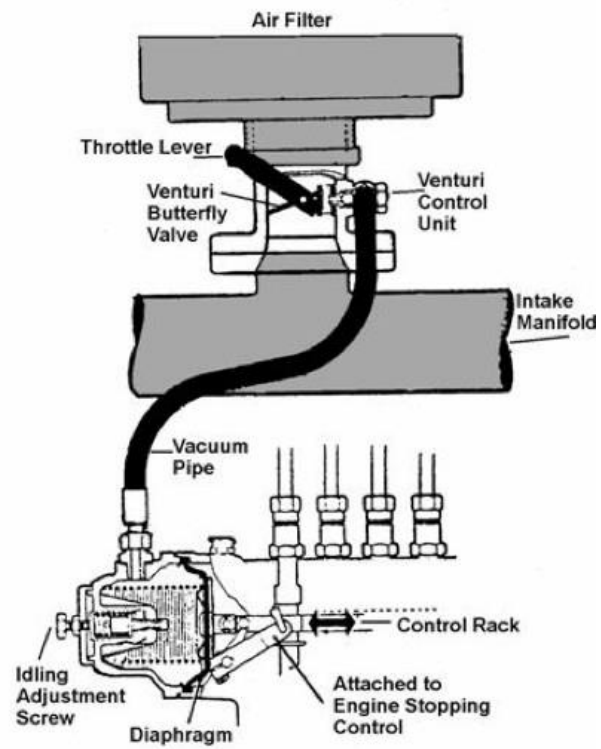


Gráfico 2.11: Gobernador neumático
Fuente: <http://www.splashmaritime.com.au>

Capítulo III

3.1 Bomba de inyección BOSCH PES4A50B410RS144

3.1.1 Descripción

La bomba de inyección lineal diesel, la cual se ha montado en el simulador de este proyecto, se reconoce por la serie PES4A50B410RS411. Esta bomba es de constitución sencilla y pequeña, ya que es un modelo que surte a 4 cilindros y tiene un árbol de levas integrado o propio.

Las cifras del número de serie de la bomba describen lo siguiente:

- **PES:** Estas siglas refieren a que la bomba de inyección tiene un árbol de levas propio, además de que su sujeción en el motor es gracias a una brida frontal.
- **4:** Número de cilindros del motor.
- **A:** 8 mm de carrera del émbolo.
- **50:** Diámetro del émbolo en mm.
- **B:** Letra de modificación.
- **410:** Código de montaje.
- **R:** Sentido de giro del árbol de levas. R (derecha).
- **S411:** Código de versión.

Como se puede apreciar con el código de la bomba, se dispone de una bomba de construcción pequeña, con árbol de levas integrado o propio, manufacturada para trabajar en un motor de 4 cilindros, en donde su sujeción es hecha por una brida frontal.

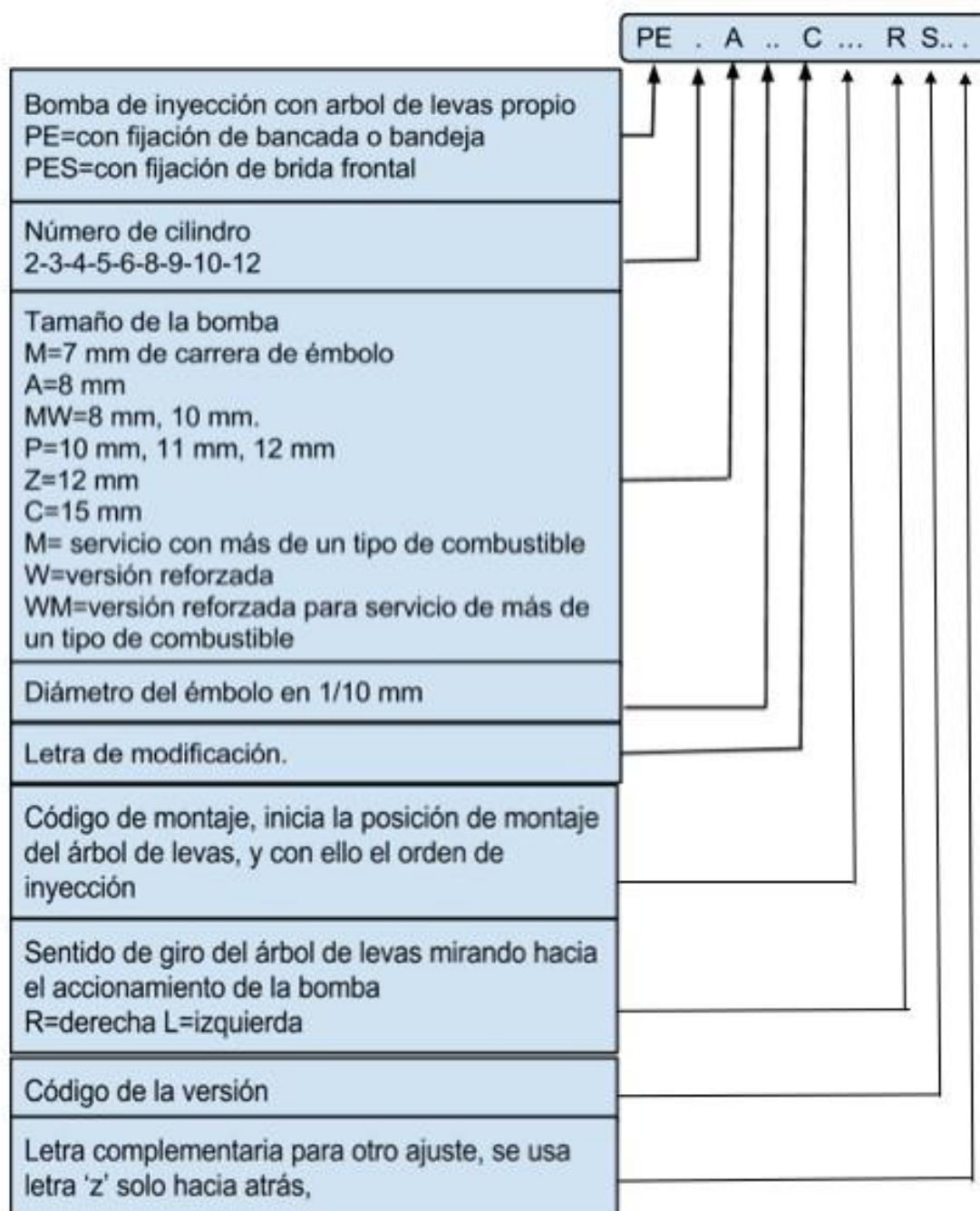


Gráfico 3.1: Serial bomba bosch pes4a50b410rs411

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

3.1.2 Características técnicas

La bomba lineal que se encuentra en el simulador de inyección diesel tiene los siguientes datos técnicos:

Bomba de inyección Bosch PES4A50B410RS411	
Presión (bar)	750
Potencia por cilindro (kW)	27
Caudal por c/inyección (mm ³)	120
Regulación de inyección	Mecánica
Inyección directa	SI
Inyección indirecta	SI
Número de inyectores	4
RPM	2800

Tabla 3.1: Especificaciones bomba PES4A50B410RE411

3.1.3 Constitución y configuración de la bomba PES4A

Esta bomba de inyección es de carrera constante, la cual únicamente puede variar la entrega de combustible si interviene mecánicamente un agente externo a la bomba.

Esta bomba esta constituida de:

- **Cárter:** Aloja al árbol de levas de la bomba de inyección y da sujeción a la bomba de transferencia.
- **Árbol de levas:** Su número de levas es directamente proporcional al número de cilindros del motor.

- **Bomba de transferencia:** Es la misma de la que se habla en el capítulo I del presente documento. Esta recibe el mismo movimiento del árbol de levas de la bomba de inyección.
- **Cuerpo de bombeo:** Este conjunto de elementos internos de la bomba, son lo encargados enviar el combustible, por medio de las cañerías. hacia los inyectores
- **Cañerías:** Encargadas de ser el camino por el cual el combustible, enviado desde la bomba de inyección, llegue a los inyectores.
- **Inyectores:** Son los encargados de dosificar y pulverizar el combustible al momento de ser inyectado.

3.1.4 Constitución y funcionamiento del cuerpo de inyección

Todo el trabajo empieza cuando el árbol de levas es accionado y puesto en movimiento, ya que es el encargado de hacer que la bomba de transferencia y la bomba de inyección trabajen.

Cada una de las levas del árbol, va a accionar o tomar contacto con los taques de la bomba de inyección, los cuales se encuentran presionados por un rodillo, el mismo que lo presiona el muelle del cilindro. El taque de la bomba transfiere el movimiento del árbol de levas al émbolo o pistón, el cual está alojado dentro del cilindro de la bomba.

El cilindro es parte vital del proceso de inyección, por su misma construcción, ya que tiene unos destajes o lumbreras, las cuales coinciden con los canales de alimentación, a los cuales llega el combustible desde la bomba de transferencia. Un

detalle especial del cilindro o émbolo de inyección, es que su movimiento no se limita verticalmente, sino que puede girar con un cierto ángulo sobre su propio eje; todo esto gracias a que está sujeto a una cremallera por medio de una corona.

El fin de este movimiento por medio de la cremallera es dosificar el combustible que entra al cilindro por medio de las lumbreras del pistón. Dentro de la constitución del cilindro de la bomba, encontramos una válvula de retención, la cual realiza la función de impedir la fuga de combustible hacia los inyectores mientras no se ha accionado el pistón.

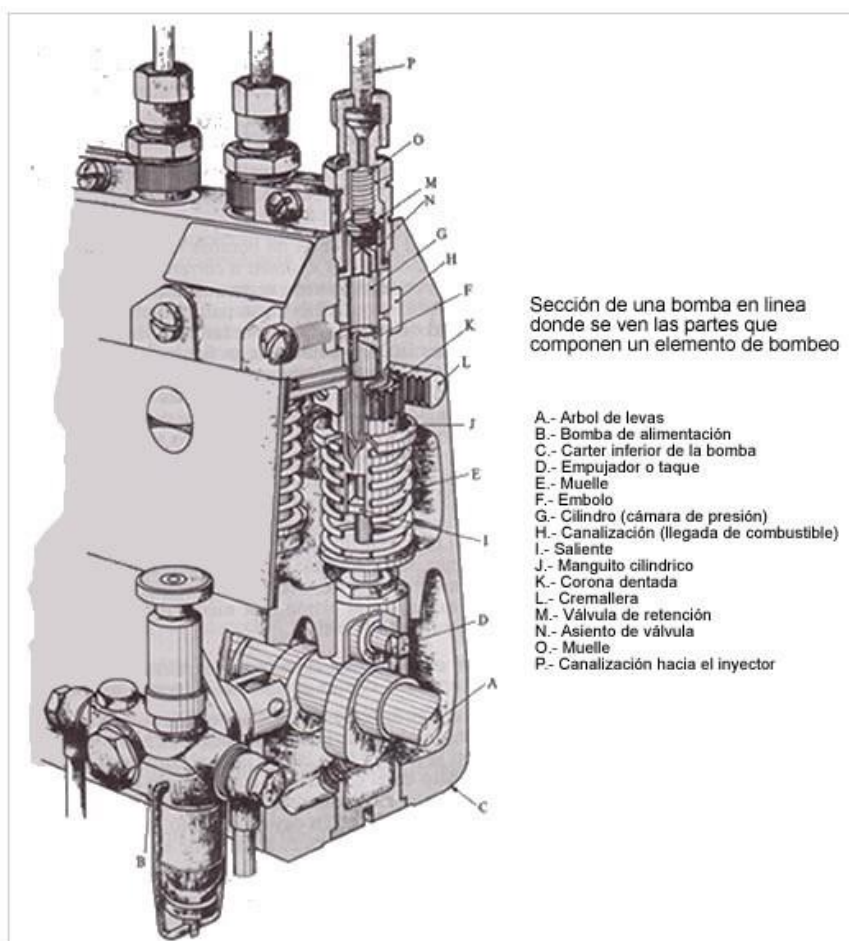


Gráfico 3.2: Cuerpo inyección lineal
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

3.1.5 Funcionamiento de regulación de dosificación o caudal de combustible entregado

Es una parte muy importante dentro de la bomba Bosch que se encuentra en el simulador, ya que esta característica de funcionamiento nos va a permitir regular la cantidad de combustible a inyectar, así como calibrar los elementos de bombeo.

Básicamente entra en acción la cremallera dosificado de combustible con el pistón o émbolo de la bomba. Como se sabe, el pistón en su parte inferior tiene una corona dentada, la cual se va a unir con la cremallera, la cual tiene su riel igualmente dentada, para realizar un giro sobre su propio eje por parte del pistón.

Con el giro del pistón, se pueden obtener inyecciones más o menos largas, dependiendo de la posición, o a su vez suministros nulos, parciales o máximos.

- **Suministro nulo:** sucede cuando la canalización de suministro se encuentra obstruida por la cara plana del cilindro.
- **Suministro parcial:** sucede cuando la canalización de combustible se encuentra semi obstruida, surtiendo de poco combustible al cilindro. Por ende la carrera de inyección va a ser baja.
- **Suministro máximo:** sucede cuando la canalización esta totalmente abierta y empatada con las lumbreras del cilindro, dando un libre paso de combustible y obteniendo una carrera de inyección larga.

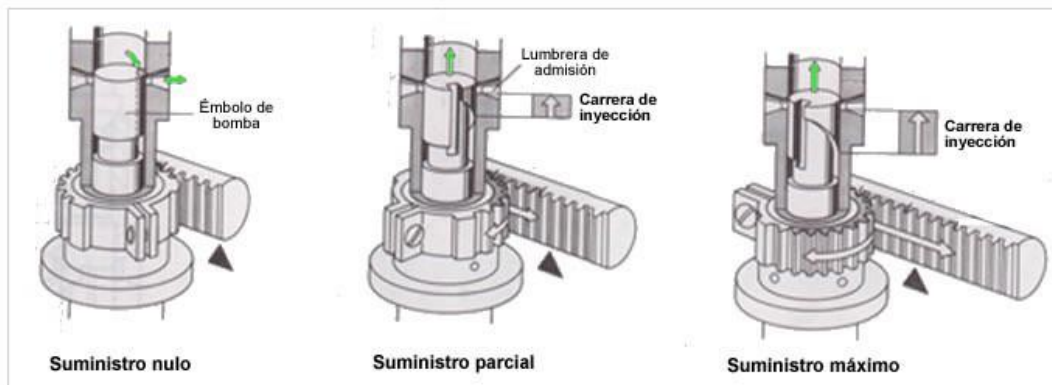


Gráfico 3.3: Posición cremallera
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Capítulo IV

4.1 Simulador de inyección Detroit o bomba-inyector

4.1.1 Constitución del simulador

En el presente capítulo hablaremos del inyector montado en el simulador que vamos a construir, para empezar entenderemos más profundamente las numeraciones del Sistema Detroit Diésel que se presentan en todos los vehículos

Model Codes	
T	Turbocharged
V	V-Block configuration
L	Low profile
N	4 valve (per cylinder)

Tabla 4.1: Códigos modelos Detroit

Como vemos cada letra nos describe como es vehículo, por ejemplo: 8v-71T nos dice que el motor es de 8 cilindros en V, con la tecnología Diésel Detroit 71 y es turbo.

La diferencia fundamental entre el sistema 71 y el sistema 91 es el Caballaje, para lograr el mismo algunas piezas del sistema 71 se aligeraron aunque como se quitó mucho peso también la duración es distinta, el sistema 92 se creó para lanchas militares primordialmente, poseían un caballaje necesario para su respectivo trabajo, después la tecnología del sistema 92 se trasladó primero a camiones y después a

buses, cabe recalcar que el sistema 71 por su duración y confiabilidad es preferido por coleccionistas. (Engine, Technomania, 2013)

El inyector que vamos a utilizar es 8v-71 de 9.3 litros y 318 caballos de fuerza, no se conoce la maquina en la cual funcionaba por ser equipo de reciclaje pero los inyectores no cambian mucho son los mismos en cada tipo de motor, Acá podemos ver el caballaje y torque que tiene este tipo de motor:

Model	Displacement	Engine configuration	Horsepower
1-71	1.2L (71ci)	Single-cylinder	10
2-71	2.3L (142ci)	I-2	68
3-71	3.5L (213ci)	I-3	113
4-71	4.7L (284ci)	I-4	160
6-71	7.0L (426ci)	I-6	238
6V-71	7.0L (426ci)	V-6	238
8V-71	9.3L (568ci)	V-8	318
12V-71	14.0L (852ci)	V-12	450
16V-71	18.6L (1136ci)	V-16	635
24V-71	27.9L (1704ci)	V-24	1800

Tabla 4.2: Especificaciones modelos Detroit

Model	Horse Power @ RPM	Torque @ RPM
11.1 Litre	250 @ 1800	970 @ 1200
11.1 Litre	300 @ 1800	1150 @ 1200
11.1 Litre	330 @ 1800	1150 @ 1200
11.1 Litre	330 @ 1800	1250 @ 1200
11.1 Litre	350 @ 1800	1250 @ 1200
11.1 Litre	350 @ 1800	1250 @ 1200
11.1 Litre	365 @ 1800	1350 @ 1200

Gráfico 4.1: Torque motores 11.1 litros
Fuente: <http://www.dwclutch.com>

4.1.2 Especificaciones del motor 8v-71 y su inyector



Gráfico 4.2: inyector en motor 8v-71
Fuente: <http://www.technomadia.com>

Los inyectores de este sistema es lo que más nos va a importar en el proceso de construcción del simulador, ya que su tecnología única es lo que diferencia al sistema Diésel Detroit de otros sistemas.

El inyector funciona como bomba e inyector al mismo tiempo, la bomba de combustible lleva al Diésel hacia el inyector a 70PSI, cuando entra al canal de entrada se pone en posición par que el inyector impulsado por el árbol de levas pulverice todo el combustible que se encuentre en la cámara.

No todo el combustible se utiliza en el proceso, por eso tiene un canal de salida con el cual el resto del combustible vuelve al tanque de Diésel. (Engine, Technomania, 2013)

4.1.3 Inyector del sistema Detroit 8V-71

El inyector Pulveriza el Diésel a 1800 PSI.

Todos los sistemas series 71 vienen con compresor y turbo.

Para regular la cantidad de combustible que se pulveriza el sistema viene con una cremallera el cual no posee ningún sistema electrónica para su funcionamiento, este sistema también es manipulado por el governor, si necesitamos más Diésel a más revoluciones el governor mueve la cremallera de forma automática.

4.1.3.1 Partes del inyector del sistema Detroit 8V-71

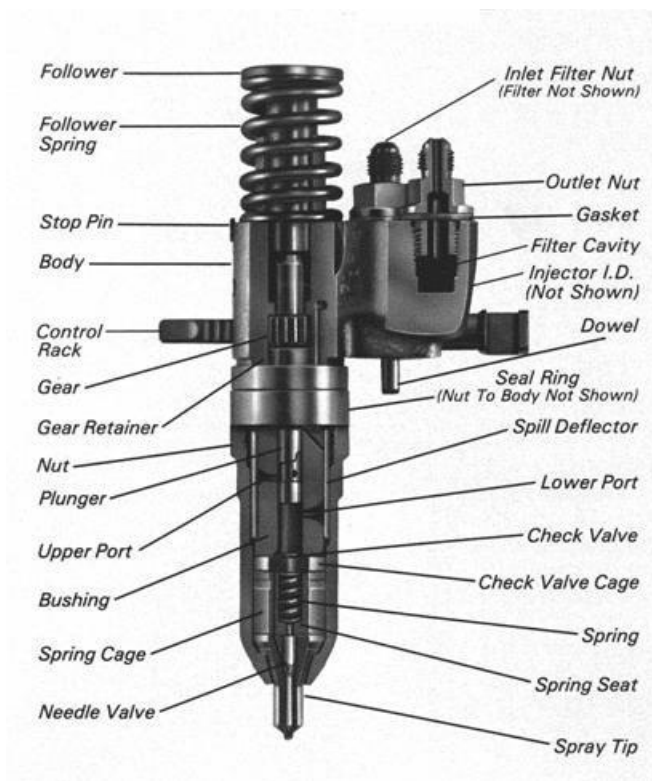


Gráfico 4.3: Partes inyector diesel detroit 8v-71

Fuente: <http://www.splashmaritime.com.au>

- Follower o seguidor: va directamente abajo del árbol de levas, encarga de recibir la presión que viene del árbol de levas y transmitirla al resorte.
- Follower spring: Está ubicado junto al resorte y topa directamente con el plunger, el cual ejerce presión la cual viene del árbol de levas, al ajustar o desajustar el brazo del balancín del inyector lo podemos asentar en la base superior del seguidor, y así se determina la calibración de presión.
- Stop Pin: Punto máximo al cual el resorte puede llegar, para que la presión del sistema sea correcto.
- Body: Cuerpo del inyector es la carcasa que recubre a todos los elementos mencionados, en la carcasa encontramos el In filter nut, y el outlet filter nut, el

primero nos sirve para recoger el combustible que viene del filtro y de la bomba de combustible, y el segundo es para el retorno de combustible, el combustible que no entra a la cámara de combustión pasa por el retorno de combustible y se va al tanque de gasolina.

- Control Rack: Cremallera de regulación, nos sirve para regular la cantidad de combustible que entra, el cual mueve la punta inyectora de posición y los destajes calculados nos dan la presión necesaria mandando combustible de retorno, el Rack es manipulado por el acelerador o por el Governor del sistema.

- Gear: Engranaje, el cual es regulado por el Rack o varilla de regulación, va conectado a la punta inyectora.

- Gear Retainer: Retenedor del engranaje de regulación de cantidad de combustible,

- Nut: La tuerca del inyector está adherida al cuerpo del inyector y sirve para enroscar todo el sistema en el cabezote.

- Plunger: El plunger es un metal cilíndrico de carrera descendente y ascendente el cual se desliza en un cilindro, al momento de descender genera presión sobre el combustible que está debajo del inyector y así genera la presión necesaria para el Diésel que va a la cámara de combustión, cuando el Plunger se retrae genera un vacío que atrae más Diésel a la cámara cilíndrica.

- Upper Port y Lower Port: Para entender mejor nos guiaremos de un gráfico:

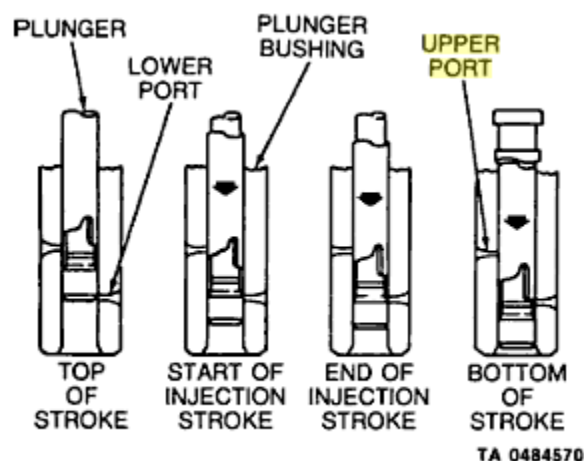


Gráfico 4.4: modos inyección puntas inyectoras
Fuente: <http://www.splashmaritime.com.au>

En la figura observamos varias posiciones desde cuando el motor está parado hasta que damos máxima potencia, o máxima cantidad de combustible, cuando ponemos el Jack o la cremallera en posición de no carga el Upper port o el puerto superior no está cerrado por la hélice del inyector, hasta después que el low port o puerto inferior sea descubierto como consecuencia toda la presión se desvía y el Diésel se va al reservorio de combustible. (Army, s.f.)

Con la cremallera en posición de trabajo, el puerto superior es cerrado momentáneamente hasta que el puerto inferior sea cubierto, esto nos da la máxima carga posible al momento de la inyección y muy poco vuelve al tanque de combustible.

- Bushing: Es donde el émbolo recorre de forma ascendente y descendente.
- Spring Cage: La jaula del resorte mantiene presionado el inyector en su asiento mientras esté cerrada y no haya presión de combustible. Al aumentar la presión de combustible la aguja cede y el inyector baja.

- Needle Valve: Es una válvula de aguja cuando hay presión en el sistema esta se desplaza y deja pasar combustible, cuando no hay presión en el sistema cierra el paso de combustible.
- Gasket: o junta ayuda a que el combustible no se derrame y sea un sistema hermético.
- Filter cavity: o cavidad de filtro, es un filtro que no deja pasar impurezas al sistema de inyección.
- Dowel: o espiga, es un pequeño destaje para que el inyector calce en su lugar en el cabezote
- Seal Ring: anillo sellador, cuando tenemos que hacer mantenimiento es muy importante que el anillo esté en buen estado para que sea un sistema hermético.
- Spill Deflector: Es la cavidad donde el Diésel hace su retorno al tanque de combustible.
- Spring: El resorte sostiene toda la presión que es generada por el inyector. Cuando la presión es suficiente vence la tensión del resorte, pero cuando la presión baja el resorte mantiene en posición al inyector.
- Spring Seat: Asiento del resorte del inyector, en el asiento va ubicado el resorte y sostiene la presión del mismo.
- Spray Tip: Punta de inyector en donde aloja a la aguja inyector, posee algunos orificios para pulverizar el combustible.

Capítulo V

5.1 Simulador de inyección diesel con bomba lineal

5.1.1 Cuadros de ensamble y montaje del simulador de bomba lineal BOSCH

Descripción	Fotografía
<ul style="list-style-type: none"> Una vez entregada la estructura por parte de los soldadores, procedemos a pintarla. El proceso de pintado se realizó con aerosol de color rojo. 	
<ul style="list-style-type: none"> Así mismo, una vez que obtuvimos los soportes de madera, procedemos a forrarlos para evitar que el diesel que se pueda derramar dañe las mismas. El forrado se lo efectuó con papel impermeable adhesivo de color negro. 	

Descripción	Fotografía
<ul style="list-style-type: none">• Finiquitado el proceso de forrado, procedemos a montar las tablas en la estructura metálica.• El montaje de las tablas se lo hizo con atornillado.	
<ul style="list-style-type: none">• Nos dedicamos a la bomba de inyección, limpiándola y preparándola para su montaje en la estructura.• Se la pulverizó para hacer más rápido este proceso.• Se utilizaron cepillos para acceder a partes pequeñas y angostas.	

Descripción	Fotografía
<ul style="list-style-type: none">• Montamos la bomba en la estructura sujetándola con pernos a la base de madera forrada.	
<ul style="list-style-type: none">• Montamos los componentes eléctricos del simulador, los cuales se componen de un interruptor de mando, un timer el cual es un extra del simulador y un relé especial para control y protección del circuito.	
<ul style="list-style-type: none">• Procedemos a colocar la estructura metálica en donde se van a montar los inyectores de a bomba lineal.	

Descripción	Fotografía
<ul style="list-style-type: none">• Preparamos los inyectores y los montamos sobre la estructura metálica.• Los inyectores fueron lavados y reparados para ser usados en el simulador.	 
<ul style="list-style-type: none">• Una vez ensamblada la estructura superior, procedemos a armar la estructura de madera inferior, que sostendrá al motor eléctrico.	
<ul style="list-style-type: none">• Montamos el motor eléctrico.• Lo sujetamos con ayuda de pernos a la base de madera forrada.	

Descripción	Fotografía
<ul style="list-style-type: none">• Se procede a conectar el motor eléctrico al sistema de control del simulador.	 
<ul style="list-style-type: none">• Se conectan cañerías que unen la bomba con los inyectores.• Antes de conectarlas, se verificaron para detectar fisuras.	 

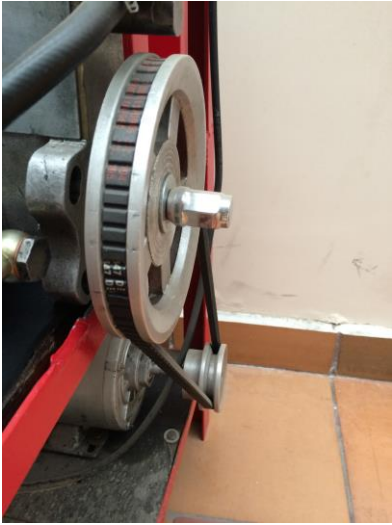
Descripción	Fotografía
<ul style="list-style-type: none">• Finalmente, se coloca la banda que transmitirá el movimiento del motor eléctrico hacia la bomba de inyección lineal.	

Tabla 5.1: Cuadros de ensamble Bomba Lineal

5.1.2 Constitución y presupuesto del simulador diesel con bomba lineal

Elemento	Descripción	Costo
Base Metálica	Base del simulador. Elaborada para soportar los elementos del simulador.	\$80,00
Bases de madera	Bases con medida y orificios para alojar los elementos del simulador como inyectores, bomba de inyección y motor eléctrico.	\$40,00
Motor eléctrico	Motor eléctrico de corriente alterna de 1 HP.	\$70,00
Bomba de inyección diesel	Bomba de inyección diesel Bosch PES4A50B410RS411.	\$100,00
Inyectores	4 inyectores de combustible.	\$80,00
Tanque de combustible	Tanque de plástico negro.	\$10,00
Interruptor electrico	Accionamiento del simulador.	\$3,00
Relé industrial	Protección de componentes eléctricos.	\$10,00
Timer	Elemento que mantiene en funcionamiento el simulador en un tiempo determinado	\$7,00
Banda	Transmite el movimiento del motor eléctrico hacia la bomba de inyección	\$4,00
Varios	Reparaciones. Materiales.	\$20,00
Total		\$424,00

Tabla 5.2: Presupuesto y constitución simulador bomba lineal

5.1.3 Manual de accionamiento del simulador de inyección Diesel con bomba lineal

El funcionamiento del sistema de simulación es muy sencillo. Se debe destacar que los implementos y equipos de seguridad necesarios para operar el simulador son indispensables para evitar accidentes en el operador. Se recomienda el uso de guantes, gafas y tapones para los oídos.

Una vez preparados para usar el simulador, debemos tomar en cuenta que todas las piezas y componentes del mismo estén conectadas, colocadas en su lugar y que el simulador en sí se encuentre en lugar estable para evitar desplazamientos y caídas provocadas por las vibraciones de trabajo.

El simulador funciona:

5. Conectamos el simulador a un enchufe de corriente alterna de 110 voltios.
6. En el "Timer" procedemos a colocar el tiempo de funcionamiento programado del simulador.
7. Colocamos diesel en el tanque o depósito de combustible.
8. Bombeamos manualmente la bomba de transferencia para llenar la bomba principal del combustible.
9. Colocamos los recipientes debajo de cada inyector.
10. Accionamos el interruptor principal.
11. observamos el trabajo de la bomba de inyección en el tiempo programado.
12. Se vuelve a repetir el proceso si se desea.

13. Una vez terminado con el uso del simulador, se lo desconecta.

5.1.4 Funcionamiento del simulador de inyección Diesel con bomba lineal

El simulador funciona con corriente alterna de 110 voltios, la cual llegará al motor eléctrico, comandado por el interruptor principal del simulador. Una vez accionado, el motor eléctrico transmite el movimiento hacia la bomba de inyección diesel, en donde se producirá el ejercicio de inyección.

Cabe destacar que, antes de accionar el sistema, se debe bombear manualmente la bomba de transferencia para llenar de combustible a la bomba de inyección primaria.

El ejercicio de inyección comienza desde el tanque de combustible, el cual almacena el diesel que, mediante una manguera es absorbido por la bomba de transferencia hacia el interior de la bomba principal.

Dentro de la bomba principal se encuentra los cuerpos de inyección, los cuales son accionados por el árbol de levas de la bomba. Estos cuerpos de inyección son los encargados de enviar el combustible, por medio de las cañerías, hacia los inyectores. Esto se produce gracias a que los émbolos o pistones, alojados en los cilindros de la bomba, empujan el diesel, elevando la presión, hacia el destino final, una pulverización en la punta del inyector.

El combustible que sale de los inyectores es alojado en recipientes con medida o tubos de ensayo para facilitar su medición.

El simulador de inyección se encarga de parar su trabajo automáticamente según se haya configurado el tiempo de accionamiento en el "Timer".

Capítulo VI

6.1 Pruebas simulador de inyección diesel con bomba lineal

6.1.1 Pruebas de caudal

Las pruebas de caudal que se realizan en el simulador de inyección diesel con bomba lineal se determinan bajo dos parámetros:

- Regulación de cremallera (caudal entregado).
- Regulación de tiempo.

Como vemos, vamos a determinar el caudal en función del volumen entregado y el tiempo empleado. Cualquiera de los dos parámetros se los puede combinar según las necesidades de la prueba que se vaya a realizar, haciendo uso de los instrumentos que se encuentran en el simulador como son:

- El timer.
- La cremallera.

Como base para la realización de las pruebas, se han realizado los siguientes ejercicios con el simulador:

- Pruebas de caudal con carga nula, ralentí, media y máxima.
- Pruebas de caudal con cada una de las cargas en 10 segundos.
- Pruebas de caudal con cada una de las cargas en 20 segundos.
- Pruebas de caudal con cada una de las cargas en 30 segundos.

Los cuadros detallados a continuación arrojan los resultados de los ejercicios

6.1.2 Tabla de resultados de pruebas de caudal

6.1.2.1 Prueba de caudal en 10 segundos con diferentes cargas

Tiempo	Carga	Volumen ml			
		Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
S					
10	Nula	0	0	0	0
10	Máxima	6	6	6	6
10	Media	4	5	5	5
10	Ralentí	3	3	3	3
Caudal	Nula	0	0	0	0
	Máxima	0,6	0,6	0,6	0,6
	Media	0,4	0,5	0,5	0,5
	Ralentí	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabla 6.1: Comparación caudales en 10 segundos

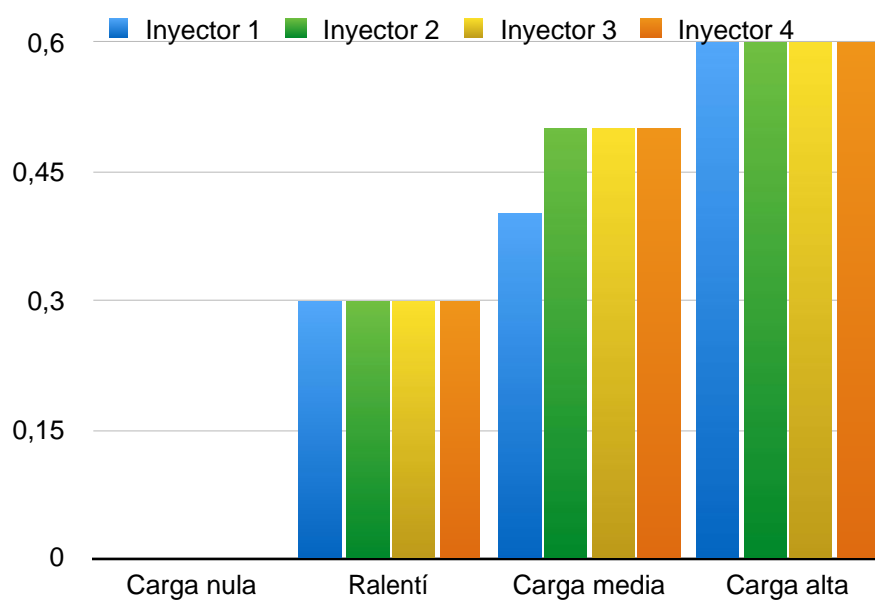


Tabla 6.1: Comparación caudales en 10 segundos

Podemos analizar que en el gráfico comparativo de caudales, en 10 segundos, que:

- Los caudales tienen una tendencia progresiva ascendente, exceptuando el caso del inyector 1 en carga media, que arrojo un dato inferior al resto.
- El caso del inyector 1 en carga media es singular y su diferencia puede darse gracias a que tiene desgaste o deterioro en considerable. De la misma manera puede considerarse le hecho de que se encuentre sucio.
- Los datos arrojados en carga nula eran de esperarse ya que la posición de la cremallera cierra las toberas de los émbolos de los cuerpos de inyección de la bomba. Este dato saca a la luz una conclusión muy importante sobre el buen estado de los inyectores, ya que ninguno produce goteo.

6.1.2.2 Prueba de caudal en 20 segundos con diferentes cargas

Tiempo	Carga	Volumen ml			
		Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
20	Nula	0	0	0	0
20	Máxima	11	11	12	12
20	Media	7,5	7,5	8	8
20	Ralentí	5	5	6	6
Caudal	Nula	0	0	0	0
	Máxima	0,55	0,55	0,6	0,6
	Media	0,375	0,375	0,4	0,4
	Ralentí	0,25	0,25	0,3	0,3

Tabla 6.2: Comparación caudales en 20 segundos

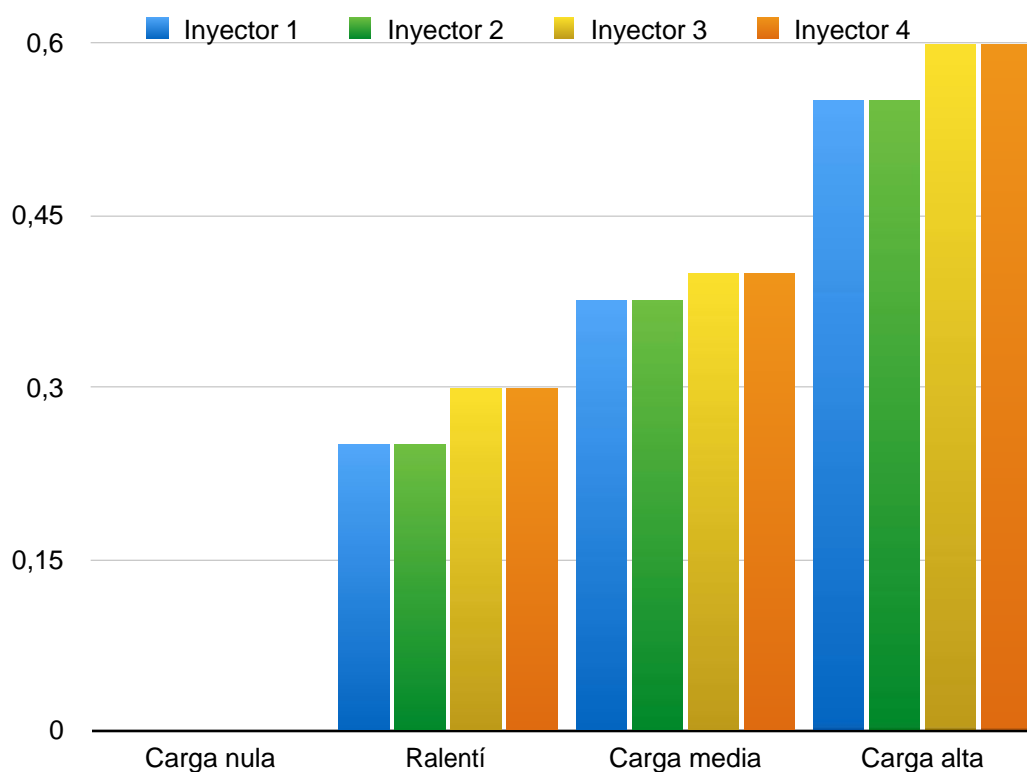


Gráfico 6.2: Comparación caudales en 20 segundos

Podemos analizar que en el gráfico comparativo de caudales, en 10 segundos, que:

- La carga nula se mantiene a pesar de la carga de trabajo que hay en 20 segundos, arrojando el dato de que se descarta el goteo de inyectores.
- Lo progresivo es un fenómeno que se mantiene en el trabajo del simulador, dando como resultado una gráfica ascendente.
- En el caso de los inyectores 1 y 2 con respecto al 3 y 4 se han encontrado diferencias de entrega de caudal, las cuales pueden arrojar datos de desgaste o mala calibración de los inyectores.

6.1.2.3 Prueba de caudal en 30 segundos con diferentes cargas

Tiempo	Carga	Volumen ml			
		Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
30	Nula	0	0	0	0
30	Máxima	16	16	18,3	18
30	Media	10	11	12	12
30	Ralentí	8	7,5	9	9
Caudal	Nula	0	0	0	0
	Máxima	0,533	0,533	0,61	0,6
	Media	0,333	0,367	0,4	0,4
	Ralentí	0,267	0,25	0,3	0,3

Tabla 6.3: Comparación caudales en 30 segundos

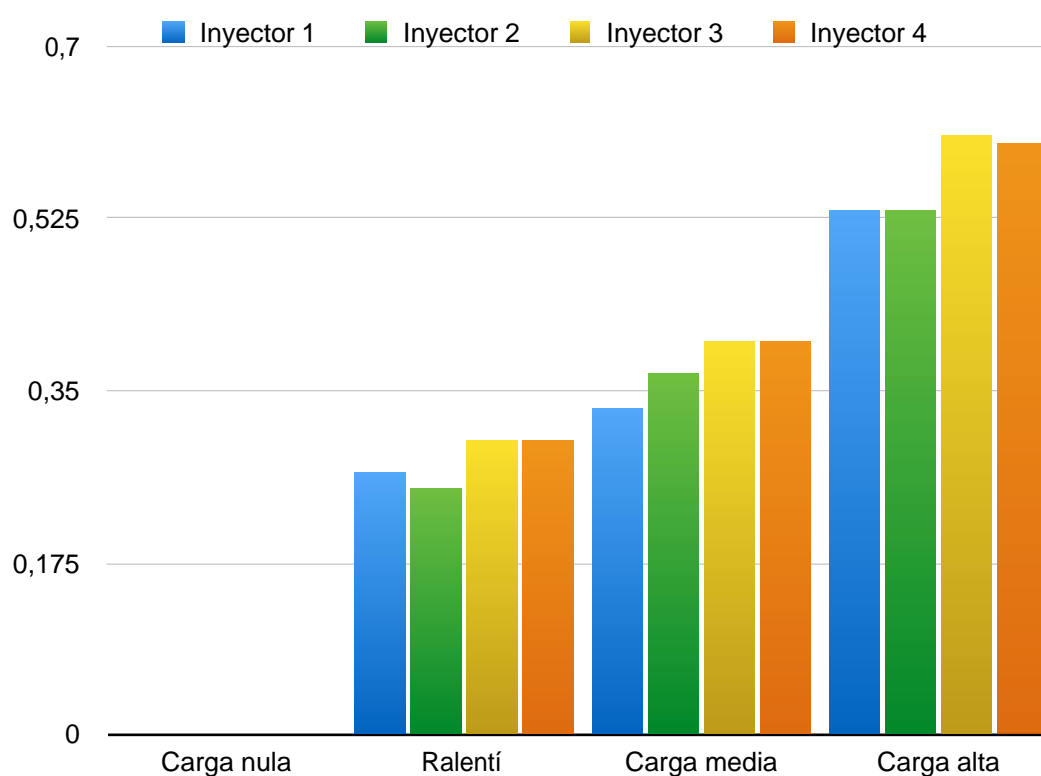


Gráfico 6.3: Comparación caudales en 30 segundos


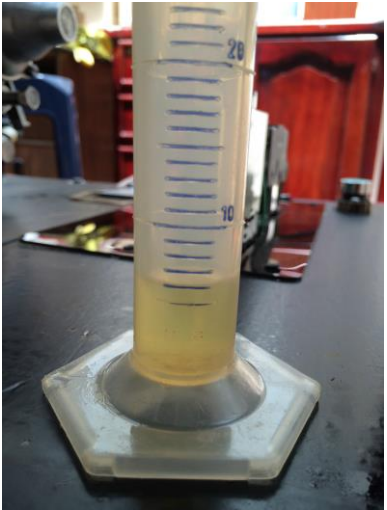


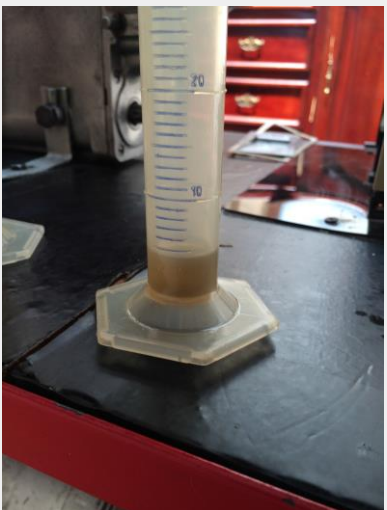

Podemos analizar que en el gráfico comparativo de caudales, en 10 segundos, que:

- El ralenti de ha mantenido en en 0; esto gracias al buen estado de los inyectores a pesar de sus años.
- El fenómeno de la progresividad es un hecho al ver los datos plasmados en el gráfico.
- Los inyectores 1 y 2 con respecto al 3 y 4 mantienen sus diferencias.

Podemos concluir que se encuentran mal calibrados o sus componentes internos están desgastados.

- Con este último gráfico se puede observar que se mantienen un valor de caudal muy cercano en cada carga en las diferentes pruebas que se han realizado.
- Como un dato final respecto al análisis comparativo entre las 3 gráficas, podemos de cierta manera arrojar una conclusión importante: entre mas tiempo encendido el simulados, se puede llegar a más diferencia de caudales entre los inyectores 1 y 2 con el 3 y 4.

6.1.3 Tabla de fotografías de prueba de caudal: 10 segundos

Carga	Volumen	Tiempo (10 seg)
Máxima 	6 ml 	
Media 	4 ml 	


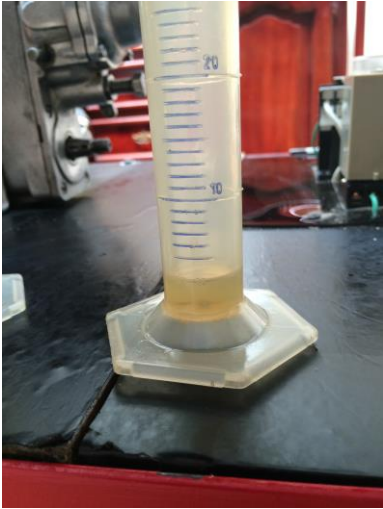


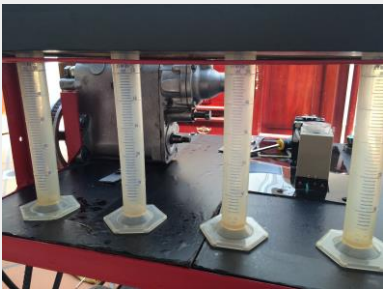


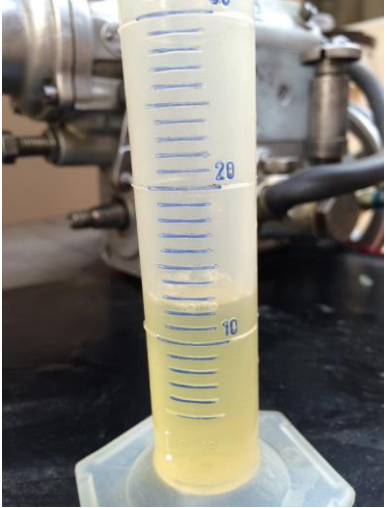


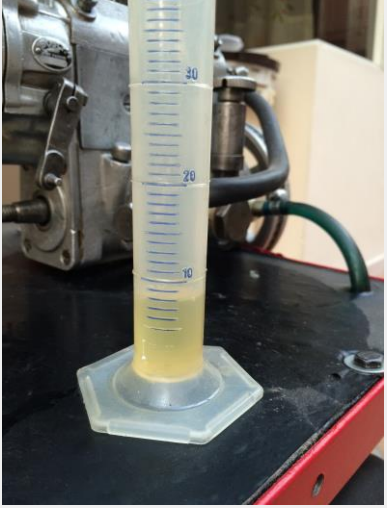

Carga	Volumen	Tiempo (10 seg)
<p>Ralentí</p> 	<p>3 ml</p> 	
<p>Nula</p> 	<p>0 ml</p> 	

Tabla 6.4: Tabla de fotografías de pruebas de caudal en 10 segundos

6.1.4 Tabla de fotografías de prueba de caudal: 20 segundos

Carga	Volumen	Tiempo (20 seg)
Máxima 	12 ml 	
Media 	8 ml 	


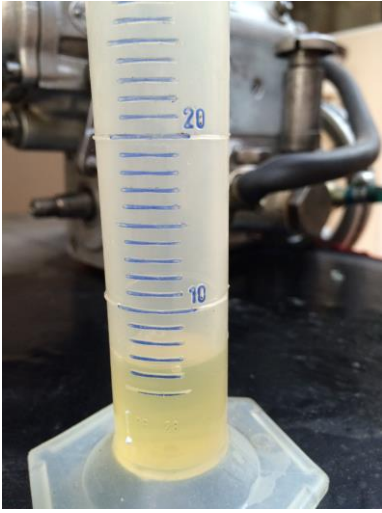


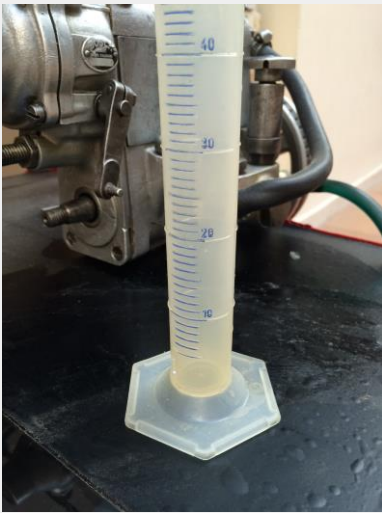


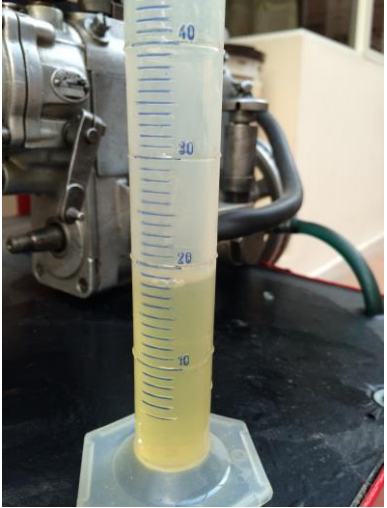


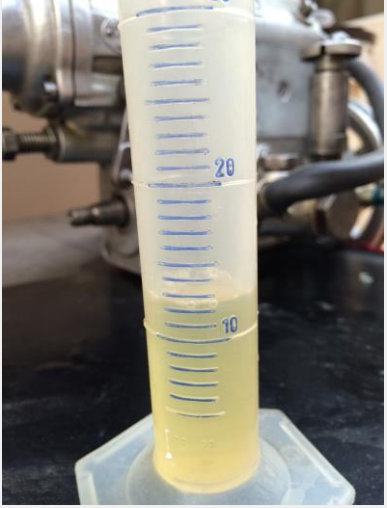

Carga	Volumen	Tiempo (20 seg)
<p>Ralentí</p> 	<p>6 ml</p> 	
<p>Nula</p> 	<p>0 ml</p> 	

Tabla 6.5: Tabla de fotografías de pruebas de caudal en 20 segundos

6.1.5 Tabla de fotografías de prueba de caudal: 30 segundos

Carga	Volumen	Tiempo (30 seg)
Máxima 	18,3 ml 	
Media 	12 ml 	


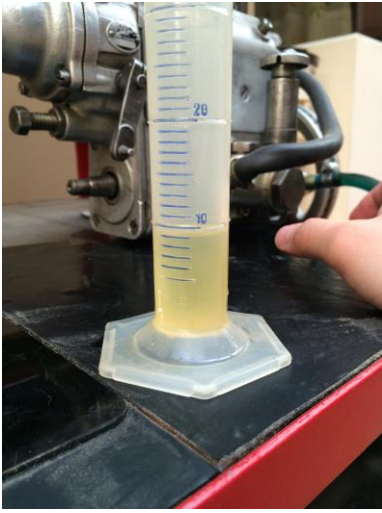


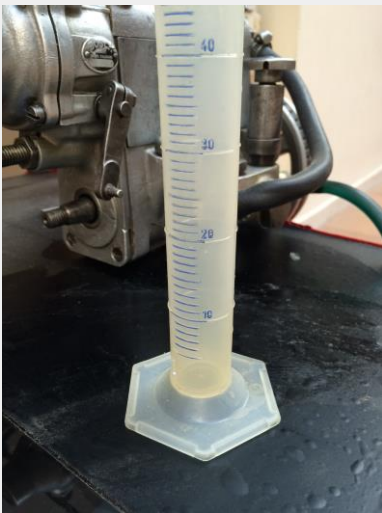

Carga	Volumen	Tiempo (30 seg)
<p>Ralentí</p> 	<p>9 ml</p> 	
<p>Nula</p> 	<p>0 ml</p> 	

Tabla 6.6: Tabla de fotografías de pruebas de caudal en 30 segundos

Capítulo VII

7.1 Simulador Detroit

En el siguiente capítulo presentaremos la construcción de un simulador Diésel Detroit, el sistema está hecho a escala 1:1 con piezas de reciclaje re manufacturadas. Se tomaron todas las medidas de seguridad necesarias para la construcción.

7.1.2 Objetivos

1. El simulador de inyección Bomba-inyector tiene que tener velocidad variable, para que simule el trabajo que representaría en un vehículo en movimiento, el mismo se tiene que lograr variando el voltaje de trabajo del motor que esta conectado con las poleas y el árbol de levas que acciona el inyector.
2. Cuando el simulador esté en funcionamiento es necesario que no tenga intervención externa para su uso continuo, para que se pueda observar su funcionamiento y su desgaste natural, para esto tendrá un tanque de combustible, filtros de combustible y mangueras de retorno.
3. Es indispensable que la pulverización del inyector sea visible para los usuarios, esto servirá para verificar la cantidad de diesel que emplea el inyector en toda carga de trabajo, para esto el inyector estará en una parte céntrica del simulador y el reservorio donde cae el diesel será transparente.
4. Algunos componentes del simulador emplean electricidad, y se manipulará con combustible, es indispensable que se asegure la seguridad del usuario, para

esto se usarán mangueras de metal y protectores de plástico en los componentes eléctricos.

El sistema tiene que tener un motor eléctrico de alto voltaje, por este motivo vamos a utilizar un motor eléctrico de corriente continua, y un convertidor de corriente que logre convertir corriente alterna en corriente continua de hasta 200 voltios, la misma es difícil de lograr así que usaremos materiales de alta calidad.

El sistema tiene que ser interactivo y educativo por eso utilizaremos el modelo de inyector emblemático en los sistema Detroit por ser el pionero en el sistema, un inyector de los sistemas Diésel Detroit 71-92, el cual utiliza un motor Diésel de dos tiempos.

El sistema tiene que ser independiente por esta razón utilizaremos mangueras metálicas de retorno de combustible.

Como bomba utilizaremos una bomba de aceite con engranajes el cual nos proporciona suficiente fuerza como alimentar el sistema.

7.1.3 Materiales

Los materiales que se utilizarán para la correcta construcción son los siguientes:

- Una base de acero con un árbol de levas que funcione por poleas y tenga sus respectivos rodamientos a sus lados.
- Un tanque de combustible.
- Un motor de 1 HP, de corriente continúa.

- Un convertidor de corriente alterna de 120 voltios, a 200 voltios de corriente continua, es probable que en la práctica no se utilizan los 200 voltios.

- Una bomba de Aceite Mazda, el cual nos da la fuerza suficiente como para llenar el sistema de combustible Diésel.

- Mangueras metálicas fabricadas a la medida para transportar el Diésel.

- Un inyector Diésel Detroit de series 71-92.

- Papel y pintura para cubrir la madera.

- Madera como base.

- Switch de 120 voltios.

- Poleas.

- Bandas Para transmitir la energía del motor.

- Llave de paso.

- Cables.

- Tanque para almacenaje de Diésel.

7.1.4 Tabla de costos del simulador

Costo de elaboración del simulador	
Base	\$120,00
Tanque de combustible	\$40,00
Motor	\$200,00
Convertidor	\$150,00
Bomba de aceite	\$20,00
Inyector	\$40,00
Papel y pintura	\$15,80
Bases de madera	\$10,00
Switch 120V	\$2,25
Pernos	\$1,47
Cables	\$3,05
Bandas	\$15,00
Poleas	\$5,00
Llave de paso	\$7,50
Reservorio	\$15,00
Total	\$645,07

Tabla 7.1: Costo simulador Detroit

7.1.5 Herramientas y equipos

- Taladro
- Multímetro
- Juego de llaves en centímetros
- Alicates
- Juego de copas en mm y media vuelta

- Pinzas de presión
- Pinza corta cables
- Desarmador de estrella y plano
- Taladro

7.1.6 Construcción del simulador de inyección Diesel Detroit

Descripción	Fotografía
<p>Construcción de la base con su árbol de levas, preparado para pintar</p>	
<p>Pintar la base con pintura acrílica, antes de pintar poner base para que coja la pintura.</p>	
<p>Cortar la con medida exacta para que entre en la base, forrar con papel, hacer los huecos necesarios para el Switch, el motor, y el tanque de combustible</p>	

Descripción	Fotografía
<p>Instalar la base de madera con la base metálica, hacer lo huecos necesarios para que coincida, pintar el árbol de levas de color negro y las partes azules donde se va a presentar desgaste, así se sabe qué porcentaje de desgaste se tiene en el transcurso de su uso.</p>	
<p>Se desarma el inyector y se revisan todas sus partes, se limpian y se procede a limpiar el inyector en ultrasonido.</p>	 

Descripción	Fotografía
<p data-bbox="197 295 785 479">Se pinta la base del inyector. Se procede a colocar el inyector en la base y después en la base principal.</p> <p data-bbox="197 542 609 577">La base se coloca a presión.</p>	 <p>The top photograph shows a blue metal component being painted on a newspaper-covered workbench. A spray can and a brush are visible. The bottom photograph is a close-up of the blue component with a silver injector nozzle inserted into it.</p>
<p data-bbox="197 956 785 1285">Se procede a diseñar y mandar hacer en un taller de ingeniería industrial el tanque de combustible, las mangueras de metal y los ganchos para soportar el motor eléctrico</p>	 <p>The top photograph shows a workshop area with a metal cart, a lathe machine, and various tools. The bottom photograph shows a large industrial machine, possibly a lathe or mill, with a control panel and a person standing nearby.</p>

Descripción	Fotografía
<p>Se procede a conectar la bomba para el Diésel que transportará el mismo hacía el inyector, esta bomba se sujetó con dos pernos a sus costados, también se coloca el tanque de combustible el cual se atornilla a la base de madera.</p>	
<p>Se instala el motor eléctrico, con sus soportes atornillados a la base de madera, amas de eso se instala todas las poleas y la banda para que transmita la fuerza.</p>	
<p>Instalación llave de paso, la cual regula la presión del sistema.</p> <p>Instalación de mangueras, las cuales se conectan al tanque de combustible.</p> <p>Se conectan las mangueras de metal desde el filtro de combustible hasta el inyector, y del inyector hasta el tanque de combustible la última es la manguera de retorno.</p> <p>También se instala el Switch el cual posteriormente será cambiado por uno que regule voltaje.</p>	

Descripción	Fotografía
<p>Se comprueba y se saca los soportes del motor eléctrico para que calcen de mejor forma.</p>	
<p>Se prueba el regulador de corriente, se ven conexiones se regula para DC, se prueba con un regulador de corriente, para tener corriente y velocidad del motor variable.</p>	
<p>Se procede a crear el soporte para la parte eléctrica del simulador, el mismo va atornillado y es posible sacar el transformador eléctrico sin necesidad de quitar ni un tornillo.</p>	
<p>Una vez que el sistema está listo se prueba en diferentes velocidades y presiones para ver que su trabajo sea llamativo e interactivo.</p>	


Descripción	Fotografía
<p>Se lubrican sus partes, especialmente el árbol de levas, se cambia el reservorio de diésel por uno transparente, para poder visualizar de mejor manera al trabajo del inyector.</p>	

Tabla 7.1: Tabla de construcción simulador Detroit

Capítulo VIII

8.1 Pruebas simulador bomba inyector

8.1.1 Pruebas y evaluaciones

Se procedió a verificar el funcionamiento del simulador.

El Diésel es sustraído por la bomba de combustible, pasa por un filtro para que las impurezas que provienen del tanque de combustible no dañen al inyector, acto seguido, el inyector se llena de combustible, el árbol de levas es movido por el motor que transmite su movimiento a través de una banda. El árbol de levas acciona el émbolo del inyector el inyector pulveriza el combustible y se verifica la inyección, la varilla de regulación del inyector regula el caudal de combustible.

El resto del Diésel es devuelto al reservorio por medio de mangueras. El sistema es conectado a un enchufe de 110 voltios, usando un transformador de corriente este convierten 110 voltios de corriente alterna a corriente directa. la corriente que viene del enchufe de la pared pasa por un variador de voltaje el cual nos da diferentes velocidades, si queremos que el sistema tenga más presión o menos presión podemos manejarlo de la llave de paso instalada en la manguera de retorno de combustible que sale del inyector.

El sistema funciona correctamente con velocidad variable, presión variable, y con pulverización visiblemente correcta.

8.1.1.1 Evaluaciones

El sistema funciona de forma correcta, a continuación se efectuaron algunas pruebas para medir su efectividad, cabe recalcar que los materiales son reciclados, y

re manufacturados, por este motivo no esperamos que sea un sistema cien por ciento efectivo, pero si con un desgaste insignificante.

8.1.1.2 Pruebas

En la siguiente sección se sometió el equipo a una serie de pruebas, las que explicaremos a continuación.

Cada prueba se ha establecido en 30, 45 y 60 segundos, tiempo suficiente que nos permite observar la inyección del simulador y sacar conclusiones de la misma.

A cada prueba le daremos variaciones de velocidad y de caudal para ver su funcionamiento en cada etapa. Después compararemos los resultados y sacaremos una conclusión.

8.1.2 Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección o ducto por unidad de tiempo, Formula:

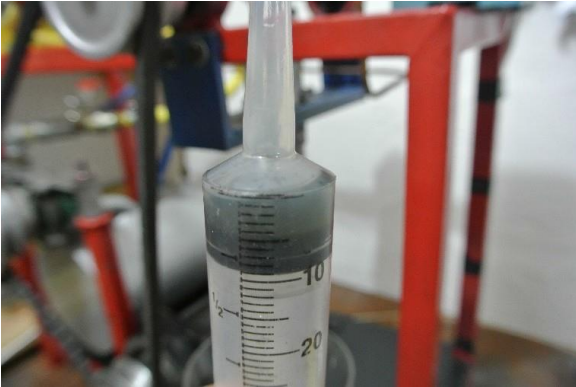

$$Q = V/T \quad Q = \text{Caudal}; V = \text{Volumen}; T = \text{Tiempo}$$

El volumen del reservorio transparente es de: 590 ml

El tiempo que empleamos fue de 30, 45 y 60 segundos

8.1.2.1 Pruebas en carga baja

Se procedió a hacer trabajar el equipo por 30 segundos, todo el diésel se fue al reservorio transparente, de ahí sacamos el Diésel con una jeringa y calculamos su cantidad en mililitros este fue el resultado:

Resultado	Fotografía
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 5\text{ml}/30\text{s}$</p> <p>$Q = 0,166\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga baja o ralentí.</p>	 <p>Gráfico 8.1: Volumen de diesel extraído en 30 segundos en carga baja.</p>
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 7\text{ml}/45\text{s}$</p> <p>$Q = 0,155\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga baja o ralentí.</p> <p>Se observa que el caudal baja con respecto a la prueba de 30 segundos.</p> <p>Esto se puede dar por el deterioro del inyector.</p>	 <p>Gráfico 8.2: Volumen de diesel extraído en 45 segundos en carga baja.</p>

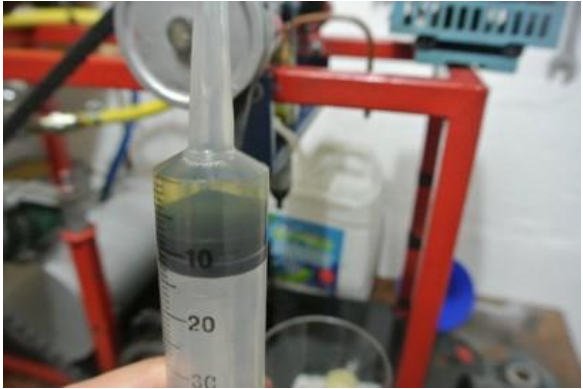
Resultado	Fotografía
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 9\text{ml}/60\text{s}$</p> <p>$Q = 0,155\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga baja o ralentí.</p> <p>Se observa que el caudal se mantiene con respecto a la prueba de 45 segundos</p>	 <p>Gráfico 8.3: Volumen de diesel extraído en 60 segundos en carga baja.</p>

Tabla 8.1: Pruebas caudal carga baja

8.1.2.1.1 Gráfico comparativo: carga baja

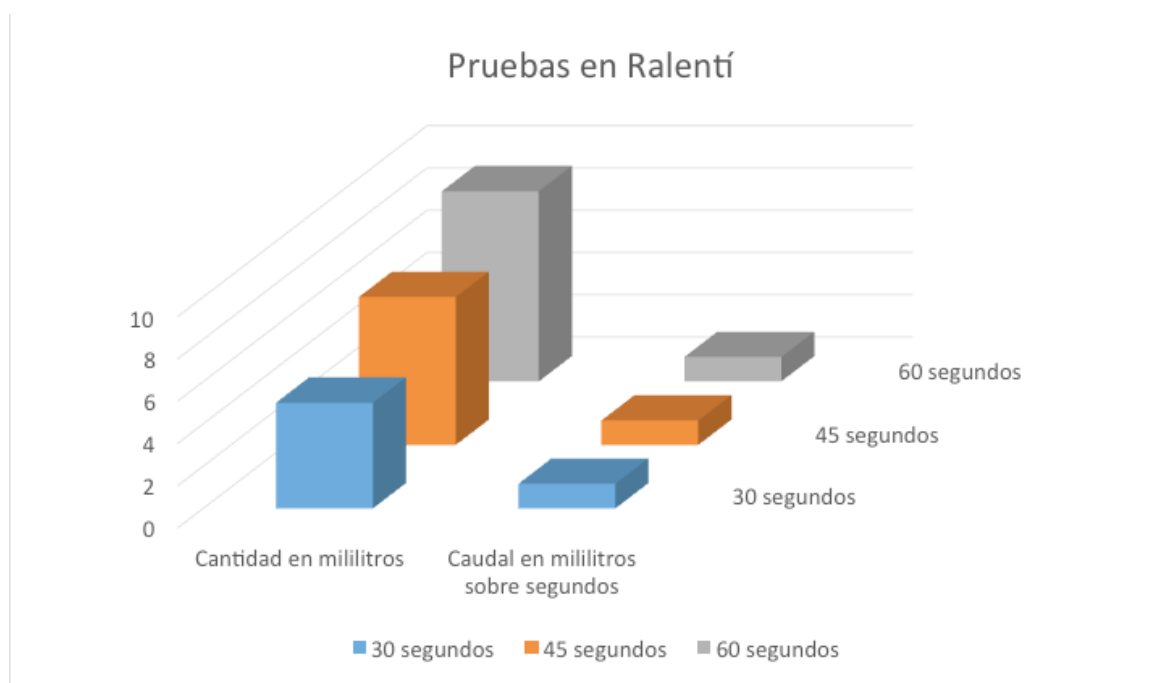




Gráfico 8.4: Pruebas simulador ralentí

Como podemos observar en el grafico 4.5 el simulador se sometió a diferentes etapas de tiempo, el cual recaudo una diferencia de diésel prevista, el promedio de cantidad de diésel que se recauda es de 2 ml cada 15 segundos, y el caudal se mantiene con una diferencia insignificante el cual puede ser producto del propio desgaste natural del inyector.

8.1.2.2 Carga media

Se procede a prender el equipo por 30 segundos, la cremallera del inyector se ubica en posición media, se espera que llene el reservorio por 30 segundos, cuando termina con una jeringa vemos cuanto lleno en cuanto tiempo.

Resultados	Fotografía
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 10\text{ml}/30\text{s}$</p> <p>$Q = 0,23\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga media.</p>	
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 14\text{ml}/45\text{s}$</p> <p>$Q = 0,311\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga media.</p>	


Resultados	Fotografía
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 17\text{ml}/60\text{s}$</p> <p>$Q = 0,288\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga media.</p> <p>En esta prueba, el caudal se regula, dando un dato más exacto que los dos últimos.</p> <p>últimos.</p>	

Tabla 8.2: Pruebas caudal carga media

8.1.2.2.1 Gráfico comparativo: carga media

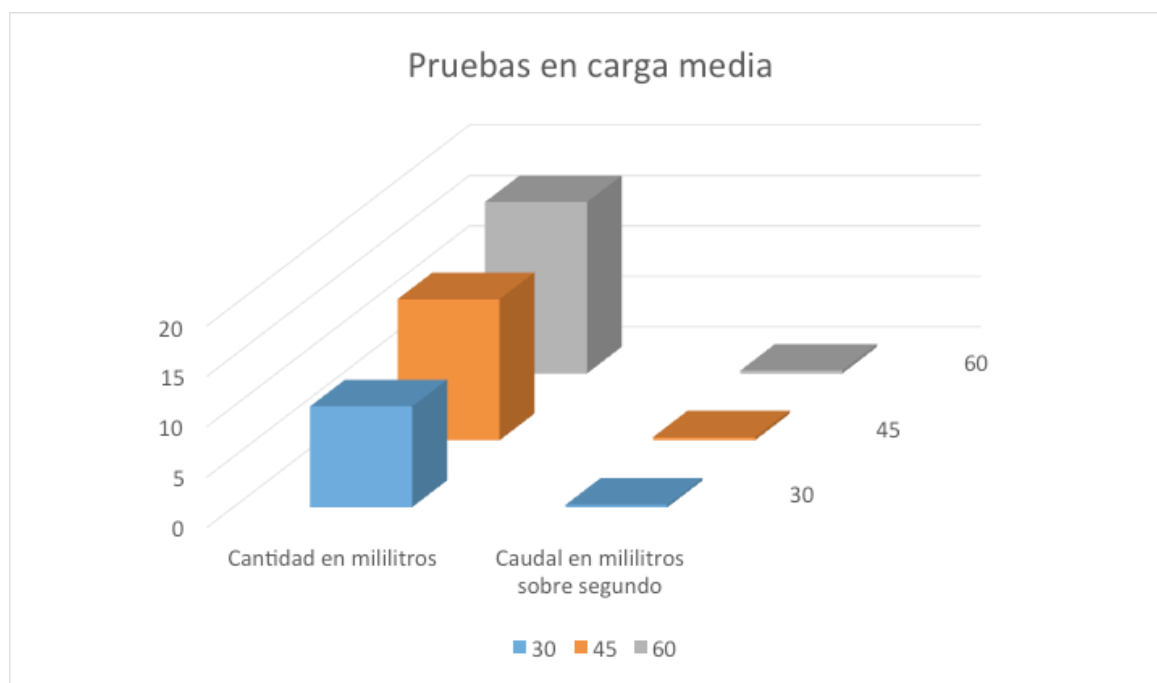



Gráfico 8.8: Pruebas simulador carga media

En carga media aparece el mismo fenómeno que en Ralentí aunque la cantidad que se recauda de diésel cada 15 segundos ya no es 2 ml si no casi 4 ml, el doble

esto nos da a entender que para que la carga media se mantenga es necesario más consumo de diésel. El caudal se mantiene bastante parecido en todo el tiempo de funcionamiento.

8.1.2.3 Carga máxima

Se procede a prender el equipo por 30 segundos, la cremallera se coloca en posición de mayor carga, cuando se termina el tiempo con una jeringa vemos cuanto Diésel entro en el reservorio.

Caudal	Fotografía
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 15\text{ml}/30\text{s}$</p> <p>$Q = 0,5 \text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga alta.</p> <p>Esta prueba puede simular un evento real como que el auto esta subiendo una cuesta.</p>	



Caudal	Fotografía
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 19\text{ml}/45\text{s}$</p> <p>$Q = 0,42\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga alta.</p> <p>Al igual que en la prueba de ralenti en 45 segundos, se puede ver que el caudal disminuye, dando un indicio de desgaste en el inyector.</p>	
<p>Caudal: $Q = V/T$</p> <p>$Q = 25\text{ml}/60\text{s}$</p> <p>$Q = 0,4166\text{ ml/s}$</p> <p>Simulador en velocidad máxima.</p> <p>Carga alta.</p> <p>Se observa que el caudal se mantiene, con una mínima diferencia que en 45 segundos, como se esperaba.</p>	

Tabla 8.3: Pruebas caudal carga máxima

8.1.2.3.1 Gráfico comparativo: carga alta

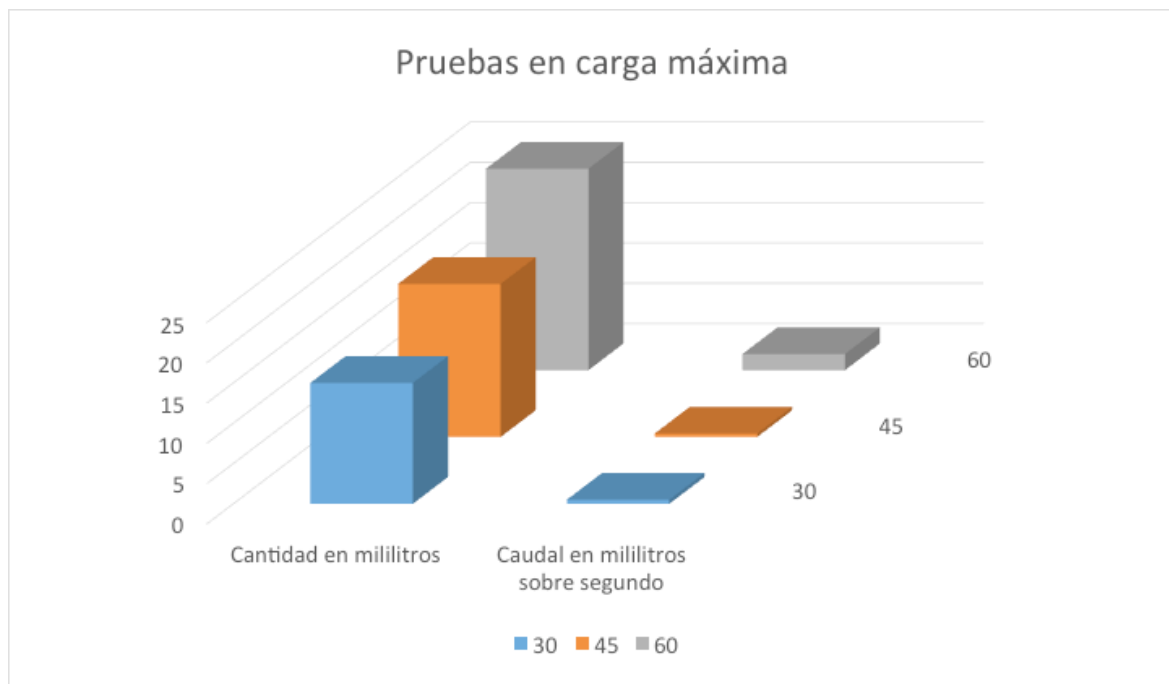


Gráfico 8.13: Pruebas simulador carga alta

Como podemos observar el consumo de diésel en carga máxima es de 5 ml de en cada 15 segundos, el cual es muy por alto al consumo en ralentí, el caudal tiene variaciones no significativas aunque entre más pasan los segundos el caudal baja, esto nos indica de algún problema causado por desgaste natural.

8.1.3 Consumo de combustible del sistema 8v-71

En el siguiente gráfico determinaremos el consumo del combustible de un camión con esta tecnología hay que recordar que es un inyector de un sistema Detroit 8V-71, eso significa que tiene 8 inyectores como este.

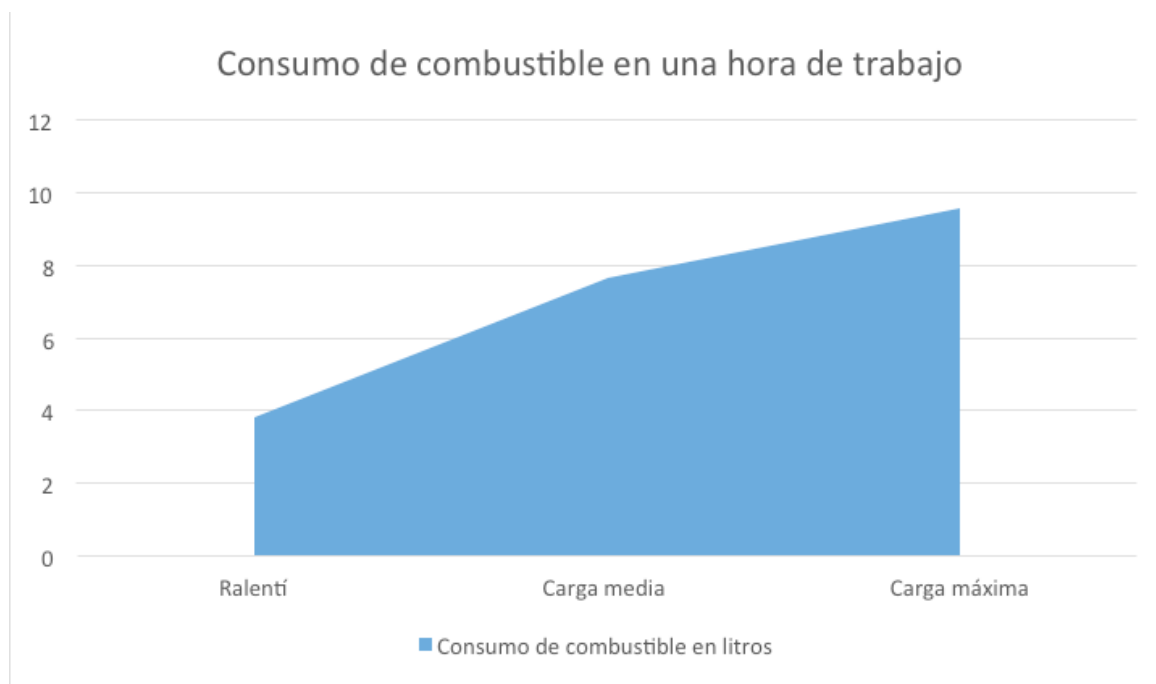


Gráfico 8.14: Consumo de combustible del sistema diesel Detroit 8v-71

Con los datos que tenemos en los distintos niveles podemos sacar que en Ralentí el equipo consume 2ml cada 15 segundos esto significa que en una hora consume 0.48 litros, esto hay que multiplicar por 8 inyectores y sacamos que el sistema en 1 una hora en Ralentí consume 3.84 litros.

En carga media el sistema consume 4ml cada 15 segundos, esto significa que en una hora el sistema consume 0.960 litros, multiplicado por 8 inyectores sacamos que consume 7.68 litros en una hora de trabajo en carga media.

En carga máxima el sistema consume 5ml cada 15 segundos, esto significa que en una hora consume 1,200L multiplicado por 8 inyectores, nos da que el sistema en una hora en carga máxima consume 9,6 litros.

8.1.4 Visibilidad de inyección



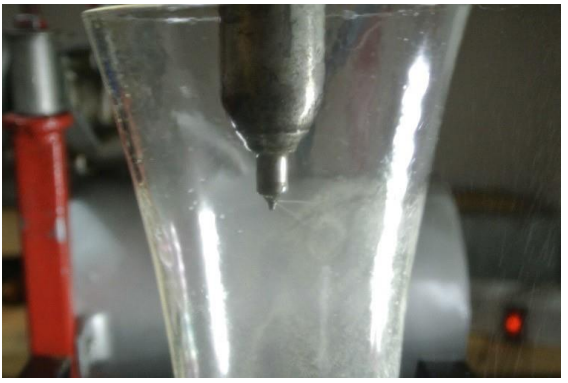
En la visibilidad de inyección observamos la pulverización del Diésel en el sistema, es muy importante que sea clara ya que el simulador será un proyecto de estudio.

Carga	Fotografía
Carga baja	
Carga media	
Carga alta	

Tabla 8.4: Visibilidad de inyección en diferentes cargas

8.1.5 Inyección a distintas cargas y velocidades

En esta prueba haremos una prueba única en el simulador, todas las pruebas anteriores fueron hechas a diferentes cargas como lo debería representar un automóvil, carga baja, baja velocidad y presión baja, carga media, velocidad media y presión media, carga alta, velocidad alta y presión alta, ahora esta prueba se hará en cargas distintas y velocidades distintas a lo que se representa en un automóvil así veremos el efecto que esto nos daría.

Carga	Fotografía
Carga baja Velocidad baja	
Carga baja Velocidad media	
Carga baja Velocidad alta	

Carga	Fotografía
Carga media Velocidad baja	
Carga media Velocidad media	
Carga media Velocidad alta	
Carga alta Velocidad baja	



Carga	Fotografía
Carga alta Velocidad media	
Carga alta Velocidad alta	

Tabla 8.5: Visibilidad de inyección en diferentes cargas a diferentes velocidades

Conclusiones

1. La bomba de inyección lineal diesel es una herramienta muy importante, ya que puede hacer que la inyección sea individual para cada cilindro.
2. Gracias a las grandes presiones de inyección en la bomba lineal, los inyectores podían estar dentro de la cámara de combustión (inyección directa).
3. Uno de los componentes más importantes de la bomba de inyección lineal es la bomba de transferencia, la cual se encarga de absorber el combustible del depósito y hacerlo llegar hacia la bomba de inyección principal.
4. La peculiaridad de la bomba de inyección Bosch PES4A50B410RS411 es su tamaño, ya que al ser compacto, los pesos del motor de aquella época se reducían notablemente, tomando en cuenta que al ser un motor de combustible diesel, sus piezas y componentes debían ser más reforzadas, y por ende más pesadas.
5. El simulador de inyección diesel con bomba lineal realiza la acción y ejercicio de inyección de una manera muy visual y casi real si se la compara con bombas montadas en automóviles.
6. El simulador de inyección diesel con bomba lineal es un material didáctico muy fácil de comprender y usar, por lo que facilita la comprensión del tema en un grado mayor. Al tener un material físico en donde trabajar y práctica, la comprensión del mismo se hace más didáctica y eficiente.
7. Los objetivos planteados fueron cumplidos satisfactoriamente.

8. El sistema Detroit tiene velocidad variable, el cual se puede regular en pleno funcionamiento y se puede observar la diferencia de la pulverización.

9. El sistema tiene presión variable se puede observar y determinar cuando existen obstrucciones en el sistema, por ende es notorio el mal funcionamiento del mismo.

10. El desgaste de los componentes conforme al uso es visible, así podemos determinar que es indispensable cambiar o mejorar según se requiera en mantenimiento.

Recomendaciones

Bomba lineal

- Es muy importante que el sistema quede totalmente lleno de combustible después de cada práctica para evitar daños de taponamiento en los inyectores.
- Los sistemas eléctricos del simulador son muy sensibles y deben estar completamente secos antes, durante y después de usarlos.
- Verificar que la banda se encuentre en buen estado para evitar accidentes durante las prácticas.
- El momento en que se vaya a devolver el diesel al tanque, se debe procurar retirar los tubos de ensayo de manera suave para evitar que se derrame y se puedan comprometer los componentes eléctricos.
- Hacer uso de guantes para usar el simulador.

Bomba inyector

- Es muy recomendable siempre tener el árbol de levas lubricado para evitar daños en el motor eléctrico.
- El sistema necesita siempre estar alimentado de Diésel, en caso contrario hay que cambiar de banda a la más pequeña y conectar el motor con la bomba, así el sistema se llenara de combustible y funcionara sin problema.
- El filtro de combustible se lo debe cambiar cada vez que se note algo de suciedad, esto ayudará a mantener en buen estado del inyector.
- El inyector debe ser mantenido y aseado una vez al año.

Generales

- En el momento de construcción tuvimos problemas con la restauración de los componentes del inyector, por ser un sistema que ya no se fabrica, por ello recomendamos probar minuciosamente el estado del inyector principalmente de la punta inyectora antes de adquirir un equipo con estas especificaciones.
- Manejar el equipo inyector con mucho cuidado porque tiene piezas las cuales son muy fáciles de perder, también reemplazar la punta inyectora si esta está llena de carbón, a tal punto que con ultrasonido no se pueda quitar las impurezas.
- Al momento de mandar hacer los soportes se recomienda usar programas digitales como AutoCad, cuando se manda en bocetos existen muchas fallas las cuales después hay que corregir con otros materiales de corte o soldadura.

Glosario de términos

Deflector: Elemento o mecanismo utilizado para desviar la dirección de fluidos.

Engranaje: Mecanismo utilizado para transmitir y variar relaciones de movimiento

Hidráulico: Sistema que basa su funcionamiento a base de presión de líquidos.

Neumático: Sistema que basa su funcionamiento en la base de presión de aire.

Desfogue: Desahogo de presión puede ser de un sistema hidráulico o de uno mecánico.

Voltio: Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz, diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un campo eléctrico, velocidad de movimiento de salto de electrones de un átomo a otro.

Admisión: Fase durante la cual se produce el llenado del cilindro. Se produce mientras la válvula de admisión está abierta y el pistón realiza el recorrido descendente, desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI).

Purgar: Sacar el aire de un sistema efectuando un procedimiento de pulgado.

Dosificación: Relación entre los elementos de una mezcla. La dosificación correcta se consigue cuando las proporciones de los elementos son las adecuadas.

Embolo: Pieza cilíndrica de un cilindro o una bomba que se mueve de forma

alternativa y rectilínea de arriba abajo impulsando un fluido.

Muelle: pieza elástica en forma de espiral, que luego de ser estirada puede recuperar su forma

Brida: reborde en los tubos de metal

Lumbreras: agujero en los cilindros del motor por donde entran y salen gases.

Relé: Dispositivo eléctrico que, al ser accionado por la corriente de un circuito, actúa de interruptor de otro circuito distinto.

Timer: dispositivo que mide el tiempo.

Referencias bibliográficas

Aficionados de la mecánica. (28 de Enero de 2010). *Bombas de inyección en línea*. Recuperado el 05 de Julio de 2014, de Aficionados a la mecánica: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Agropecuario, S.-C. (01 de Agosto de 1983). Diesel-bombas de inyección. Buga, Valle del Cauca, Colombia.

Army, U. S. (s.f.). Direct support and general support maintenance manual: engine, diesel. Obtenido de <http://books.google.com.ec/>

Cochera. (01 de Septiembre de 2006). Catálogo de recambios. Cercedilla, Madrid, España.

Diesel Levante. (nn de nn de 2004). *Bombas de inyección-Catálogos*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, de Diesel Levante : www.dieselevante.it

Ed. (11 de Febrero de 2011). *Diesel Engine Troubleshooting*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2014, de Diesel Motors: www.dieselmotors.info

Instituto Tecnológico superior José Pardo sistema de inyección Detroit (02 de diciembre del 2008) obtenido de: <http://hmch.wordpress.com/2008/12/02/51/>

Kates, E., & William, L. (1982). Motores Diesel y de gas de alta compresión. Barcelona: Editorial Reverté.

Liceo Industrial Presidente Pedro Aguirre Cerda. (24 de Mayo de 2011). *Regulador para bomba inyectora lineal*. Recuperado el 25 de Agosto de 2014, de SlideShare: es.slideshare.com

Mercedes-Benz Pontons. (nn de nn de nn). *Technical Data: Diesel Models*. Recuperado el 02 de Septiembre de 2014, de Mercedes-Benz Pontons: <http://www.mbzponton.org>

Mercedes-Benz. (nn de nn de 2008). *Winning foursomes: A look at the four-cylinder engines from Mercedes-Benz*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2014, de EmercedesBenz: <http://www.emercedesbenz.com>

Motors, G. (s.f.). *Volvo de motor*. Obtenido de <http://www.volvodemort.com/technical/detroit.html>

Scribd. (22 de Octubre de 2009). *Bombas lineales*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2014, de Scribd: es.scribd.com

Serrano, E. C. (2001). *Sistemas de inyección diesel mecánicos y electrónicos*. Quito, Pichincha, Ecuador: Edicioes América.

Transportation Centennial College California (octubre 2011) obtenido de: <http://transportation.centennialcollege.ca/oduffy/fuels/level%20%20fuels/DDC.pdf>