

Fundamento Teórico y Aplicación de la Bomba del Sistema Diésel

Nicolás Andrés Pancho Bredtmann

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Nicolás Andrés Pancho Bredtmann, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK; Directores: Ing. Yamandú Yáñez, Ing Felipe Fiallos, Ing Santiago Celi

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[nicolaspanchousek@gmail.com](mailto:nicolaspanchousek@gmail.com).

### **Declaración Juramentada**

Yo, NICOLÁS ANDRÉS PANCHO BREDTMANN, con cédula de identidad 170983824-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

NICOLÁS ANDRÉS PANCHO BREDTMANN

C.I.: 170983824-5

### **Dedicatoria**

Agradezco a mis Padres por darme la vida y esta investigación la dedico a ellos por dejarme un valioso regalo que es la VIDA, y este maravilloso regalo lo transmito a mi hijo, a quién también dedico esta investigación.

## Índice de contenidos

Declaración Juramentada.....	2
Dedicatoria.....	3
Índice de Contenidos.....	4
Índice de Figuras.....	8
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Tipos de vehículos.....	15
Vehículos pesados.....	15
Vehículos livianos.....	15
Tipos de motores.....	16
Térmicos.....	16
De Combustión Interna.....	16
De Combustión Externa.....	16
Eléctricos.....	17
Método.....	18
Motor a diésel.....	18
Bomba de Inyección.....	20

Funcionamiento.....	20
Bombas de Inyección en Línea.....	21
Circuito de combustible en la Bomba de Inyección en línea.....	23
Bomba rotativa.....	24
Circuito de combustible en la Bomba de Inyección Rotativa.....	25
Componentes electrónicos de la Bomba de Inyección.....	26
Mantenimiento de la bomba diésel.....	27
Ventajas.....	27
Desventajas.....	28
Inyección diésel.....	28
Funcionamiento en inyección diésel.....	28
Inyectores.....	29
Verificación limpieza del Inyector.....	30
Comprobación o verificación de componentes del Inyector.....	31
Principios básicos de inyección del combustible.....	32
Resultados.....	33
Parámetros de inyección.....	33
Inicio de la inyección.....	33
Duración de la inyección en la bomba.....	33

Tipos de inyección.....	34
Sistema TDI.....	36
Ventajas del sistema TDI.....	36
Sistema HDI Common Rail.....	36
Sistema Inyector-Bomba.....	37
Reparación de la bomba de Inyección.....	38
Examen Preliminar.....	38
Limpieza e inspección.....	39
Lubricación de la bomba.....	39
Calibración de la Bomba de Inyección.....	39
Procedimiento para probar la bomba de inyección.....	40
Funciones de la Inyección.....	40
Presión de Inyección.....	41
Aplicaciones de la bomba de diésel.....	41
Regulación Electrónica Diésel.....	42
Funcionamiento de la Regulación Electrónica Diésel.....	44
Procesamiento de datos de la Regulación Electrónica Diésel.....	45
Caudal de arranque.....	46
Servicio de marcha.....	46

Regulación de ralentí.....	46
Regulación del número de revoluciones final.....	46
Amortiguación activa de tirones.....	46
Regulación de la suavidad de marcha.....	47
Limitación del caudal de referencia.....	47
Corrección de altura.....	47
Desconexión de cilindros.....	48
Parada del motor.....	48
Discusión.....	49
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
Bibliografía.....	52

### Índice de figuras

Figura 1. Sistema Common rail.....	15
Figura 2. Motor Térmico.....	16
Figura 3. Motor de Combustión Interna.....	16
Figura 4. Motor de Combustión Externa.....	17
Figura 5. Motor Eléctrico.....	17
Figura 6. Motor a Diesel.....	19
Figura 7. Bomba de Inyección (1).....	20
Figura 8. Bomba de Inyección (2).....	21
Figura 9. Bomba de Inyección Lineal.....	22
Figura 10. Bomba de Inyección en línea instalada en el motor.....	22
Figura 11. Esquema del sistema de inyección con válvula de descarga en la bomba de inyección.....	24
Figura 12. Esquema del sistema de inyección con estrangulador de descarga adicional en el filtro de combustible.....	24
Figura 13. Bomba Rotativa.....	25
Figura 14. Circuito de combustible exterior e interior de alimentación de la bomba.....	26

Figura 15. Sistema de inyección.....	28
Figura 16. Fases de la limpieza de componentes del inyector.....	30
Figura 17. Materiales de limpieza para los componentes del inyector.....	30
Figura 18. Colocación de la tobera en posición vertical.....	31
Figura 19. Sistema de inyección Common-rail de la BOSCH.....	37
Figura 20. Sistema de regulación electrónica de BOSCH.....	43

## Resumen

El Sistema de bomba de Inyección diésel tiene como finalidad el introducir el combustible, a alta presión en las cámaras de combustión de los distintos cilindros del motor. La cantidad de combustible a inyectar en cada ciclo de funcionamiento del motor depende mucho de las características del mismo, del régimen de funcionamiento, de una elevada presión interna en el interior de la cámara y la necesidad de conseguir una buena mezcla de combustible con el aire para que la combustión sea completa. La finalidad del sistema de bomba de inyección de combustible se alcanza con el trabajo realizado por todo el sistema, el mismo que va desde el depósito de combustible hasta terminar en el inyector. La investigación se enmarca en una de las materias que siempre ha estado vinculadas al Ingeniero Automotriz desde los inicios de esta rama de la ingeniería. En esta investigación se analizan los sistemas de formación de mezcla de los motores diésel, denominados comúnmente sistemas de inyección de combustible, que están íntimamente ligados al proceso de combustión ya que el desarrollo de la combustión en estos motores depende fuertemente de los parámetros fundamentales que caracterizan la inyección del combustible. Es necesario tener presente que en los motores diésel se quema una mezcla heterogénea que comienza a formarse dentro del cilindro desde el momento que penetra la primera gota de combustible pero que, una vez producido el autoencendido y el período de rápida combustión generalmente durante un tiempo, la formación de la mezcla con la propia combustión y por tanto la velocidad con la que ésta progresa está condicionada por la misma. Posteriormente se analizan cada uno de los sistemas de inyección partiendo de los de bomba en línea más tradicionales hasta los actuales más sofisticados y precisos como el “common rail” que permiten alcanzar el nivel de prestaciones Este análisis se hace bajo una misma estructura: aplicaciones, principio de funcionamiento y sistemas de control.

### **Abstract**

Diesel's injection pump system works by introducing fuel with high pressure on the combustion chambers of the different cylinders of the engine. The amount of fuel to be injected in each working cycle of the engine depends a lot on its characteristics, the working regime, a high internal pressure at the inside of the chamber, and the need of getting a good mix of fuel with air for the combustion to be completed. The purpose of the injection pump is carried out by the whole system's work, the same that goes from the fuel's deposit to the end of the injector. The investigation focuses on one of the subjects that has always been linked to the automotive engineer since the beginning of this engineering branch. This investigation analyzes the mixing system of diesel engines, commonly called injection pump systems, that are tightly bound to the combustion process, since the development of combustion in these engines strongly depend on the essential parameters that characterizes pump injection. It is mandatory to keep in mind that diesel engines burn a heterogeneous mixture that begins to form inside the cylinder from the moment that the first drop of fuel penetrates; but once that the self-ignition is produced and the rapid combustion period has being carried out for a while, the mixing process with the combustion and consequently the speed in which this takes place is conditioned by its own. Later, each of the injection systems is analyzed starting from the most traditional pump, to the most precise and sophisticated we have these days such as the "Common Rail" that allows to reach a higher level. This analysis is made under the same structure: application, working principle, and control systems.

## Introducción

En la actualidad el medio de transporte cumple funciones importantes como es el transporte de personas, alimentos, animales, entre otros. Según la aplicación del vehículo depende su mantenimiento y los artefactos a diésel son mecánicos de alta precisión donde su función principal en el sistema de inyección es elevar la presión de combustible lo que le hace más fuerte, sumado a esto dosifica con exactitud la cantidad de combustible que será inyectado al cilindro de acuerdo a la voluntad del conductor, así puede regular las velocidades tanto mínimas como máximas del motor.

Hoy en día los motores a diésel existen dos tipos de bombas de inyección de combustible, y son las lineales y las rotativas. Las bombas lineales se usan normalmente en motores de alta relación de compresión y las rotativas normalmente en motores con relaciones medianas de compresión, lógicamente ambas son muy robustas ya que deben soportar la presión del sistema de inyección. (DAGEL, 1995).

Dado que en los motores a diésel se intenta obtener una combustión a presión constante, la cantidad de combustible inyectado debe repartirse en la duración de la inyección, de tal manera que la cantidad de combustible pueda quemarse en ese período de tiempo. La aplicación del sistema de la bomba de diésel asume las siguientes funciones, (DAGEL, 1995):

- Proporciona combustible necesario para el motor en cualquier circunstancia.
- Inyecta combustible con exactitud en cada cilindro con un orden establecido y adecuado.
- Generación de alta presión para la inyección y distribución hacia los cilindros.

- Logra una independencia del régimen de giro del motor.
- Permite laborar valores de presión a la generada por la bomba.

Como resultado de esta aplicación se gana mayor suavidad en el funcionamiento con incrementos próximos de par al 50% a bajos regímenes de giro y un aumento de potencia del 25%, con una reducción de consumo del combustible del 20%, lo que da una posibilidad de cumplir con las reglamentaciones ambientales tanto actuales y futuras en cuanto a la cantidad permitida de emisión de partículas de estos hidrocarburos. (DAGEL, 1995).

El objetivo de esta sustentación es orientar e informar al conductor y técnico sobre rendimiento fiable y consumo mínimo de combustible que los motores a diésel pueden traer, además de la normativa ambiental sobre la aplicación de la bomba del sistema diésel y nuevas tecnologías que deben ir con el avance tecnológico del planeta y del buen vivir de nuestro país. Ya que los motores a gasolina tienen un mayor consumo de combustible y por ende una mayor contaminación, estos aspectos a los motores de diésel le favorece mucho ya que los costos de fabricación de los artefactos para diésel son menores y con evolución tecnológica, dicha evolución ha permitido a los constructores de motores a diésel que puedan fabricar motores también para automotores incorporando la electrónica para controlar el proceso de inyección del combustible y el reciclado de los gases de escape.

Con la aplicación de nuevas tecnologías permitirá que los motores a diésel, por medio del sistema de la bomba de diésel, funcionen mejor controlando el ingreso de aire

midiendo la emisión de gases para ir en relación a la legislación sobre emisiones ya que la emisión de gases por parte de los motores a diésel es elevada.

La fundamentación logrará que se pueda controlar la entrada de aire hacia los motores ya que la entrada de aire no es controlada por el conductor y el combustible sí. Es por eso que en la actualidad los motores a diésel son algo irrenunciable por la técnica, la economía y la tendencia a la baja contaminación tanto en gases como en ruido, son más rápidos y seguros.

La bomba se encarga principalmente de bombear a presión y repartir la cantidad necesaria de combustible a cada cilindro y el sistema se convierte en un sistema de alta presión, a esto se incrementará nuevas tecnologías para poder controlar esas presiones.

No obstante la bomba misma tiene una parte de baja presión y una válvula de rebose para un pronto retorno al tanque del diésel. Pero con la implementación de un turbo cargador los gases de escape entran en la caja donde se encuentra la turbina. Esta turbina ayuda que el aire limpio entre en las cámaras de combustión, así el sistema colabora con la desaparición de residuos de gas y logren enfriarse las cabezas de los cilindros.

Cabe mencionar los avances tecnológicos que hay o se están incorporando para mejorar el alcance de la presión de trabajo y gracias a ellos se ha logrado desarrollar los sistemas TDI, HDI Common Rail (Ver figura 1) y el sistema inyector Bomba que cumple un mecanismo especial encargado de regular el avance a la inyección que incluye en el sistema a la palanca de accionamiento que se acopla al mecanismo del pedal. (BOSCH, 2005)



Figura 1. Sistema common rail. (BOSCH, 2005).

Dentro de los avances tecnológicos no hemos tomado en cuenta algo importante, ¿qué es el transporte?, partamos de esta definición para tener en cuenta los tipos de vehículos y llegar a los tipos de motores de combustión interna, así decir las ventajas y desventajas que estos motores traen y finalizar con los tipos de inyección y tipos de bombas de alimentación.

El transporte es un medio de traslado, ya sea de personas, bienes o servicios de un lugar a otro, así se clasifica en público, personal, comercial y social. Estos transportes hoy en día son considerados o clasificados dependiendo su tipo de vehículo y movidos por medio de motores. (OCÉANO, 2014)

### **Tipos de vehículos.-**

- a. **Vehículos pesados.-** Estos vehículos nos ayudan o sirven expresamente para realizar trabajo duro o pesado como son los camiones, tractores, volquetas, buses y tracto camiones. Estos vehículos pesados usan como combustible el diésel.
- b. **Vehículos livianos.-** Estos vehículos nos ayudan al transporte liviano, es decir de automóviles. Dentro de los automóviles deportivos, simples, hatchback motocicletas de tránsito normal y de competencia, camionetas de cabina simple y doble y bicicletas.

Así mismo, el motor es una parte sistemática de una máquina cuya capacidad de movimiento está sujeta a realizar un funcionamiento del sistema para poder transformar

algún tipo de energía eléctrica u otra en energía mecánica para poder realizar un trabajo específico. (OCÉANO, 2014).

**Tipos de motores.-**

- a. **Térmicos.-** Son máquinas que obtienen trabajo a partir de energía calórica.

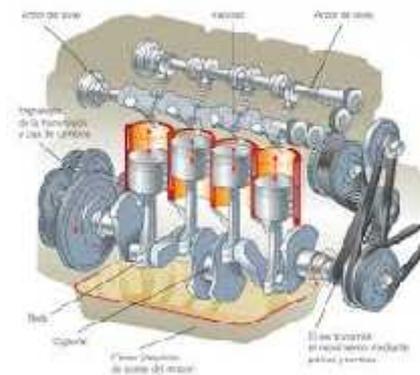


Figura 2. Motor térmico. (www.evodelosmotores.webnode.es, 2014)

- b. **De Combustión Interna.-** Máquina donde se produce una mezcla de un líquido combustible, transformando su energía química en térmica, donde se obtiene energía mecánica.

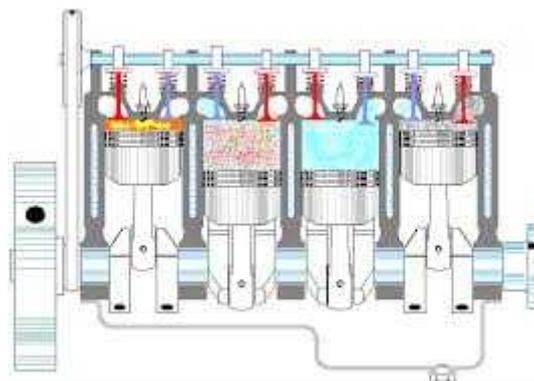


Figura 3. Motor de Combustión Interna. (www.evodelosmotores.webnode.es, 2014)

- c. **De Combustión Externa.-** Máquina térmica donde se produce combustión en un líquido diferente al líquido del motor, este líquido o fluido alcanza un estado térmico de mayor fuerza que puede llevar, mediante una pared, la transmisión de energía



Figura 4. Motor de combustión externa. ([www.evodelosmotores.webnode.es](http://www.evodelosmotores.webnode.es), 2014)

**d. Eléctricos.-** Máquina que obtiene trabajo mediante de la corriente eléctrica.



Figura 5. Motor eléctrico. ([www.evodelosmotores.webnode.es](http://www.evodelosmotores.webnode.es), 2014)

### **Método**

Para la investigación se realizó varias lecturas tanto de tesis de grado de las Universidades amigas tales como La Universidad Tecnológica Equinoccial, Escuela Politécnica del Ejército con extensión Latacunga, la Escuela Politécnica del Chimborazo de Riobamba, también ayudó varias labores de bombas diésel en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK y sobre todo en el taller al cual pertenezco; en complemento varias lecturas que detallo en la bibliografía de esta investigación.

Es importante dar a conocer las aplicaciones de la Bomba del Sistema de Diésel, pero antes se debe conocer lo que es el motor a diésel, el cual es un motor térmico de combustión interna en el que se logra un encendido por la alta temperatura que se presenta producto de la compresión del aire en su interior. (MIRALLES, 1987)

### **Motor a diésel**

Los motores a diésel (Ver figura 6) tienen características particulares y ventajosas con respecto a los motores a gasolina. Entre ellas se incluye una buena eficiencia térmica, lo que produce bajas emisiones de CO<sub>2</sub>; un poderoso torque hasta en bajas velocidades, y una alta durabilidad.

Estos motores operan bajo un sistema de auto-ignición o sistema de ignición por compresión, lo que quiere decir que no requiere de dispositivos de ignición como sucede con el motor a gasolina. Además, los niveles de emisiones de escape son bastante diferentes a los motores de gasolina: los motores a diésel emiten altos niveles de óxido de nitrógeno y partículas de materia; los motores de gasolina emiten elevados niveles de monóxido de carbono, dióxido de carbono entre otros.

Un motor a diésel al no poseer bujías y distribuidor, no necesitan afinarse o calibrarse pero si requieren un cambio de aceite continuo ya que los residuos del combustible son pesados, más que los de gasolina, es por esa razón que los filtros en estos motores son más robustos con una trampa de agua que es necesario drenarlos continuamente.



Figura 6. Motor a diésel. (GIACOSA, 2005)

Como en todo motor hay ventajas y desventajas, a continuación tenemos las ventajas y desventajas del motor a diésel:

Ventajas.-

- No poseen bujías, por lo tanto son más seguros porque no producen chispa.
- Son más potentes que los de gasolina.
- Son más durables y robustos.
- El consumo de combustible es menor.
- Mayor empuje desde bajas revoluciones.

Desventajas.-

- En invierno es difícil de arrancar.
- Costo de mantenimiento es igual o mayor que los de gasolina.
- No permiten velocidades altas.
- Es más costoso el vehículo que tienen motor a diésel.
- Bomba de inyección es costosa en su reparación.
- Alta vibración y ruido en su combustión.

## Bomba de Inyección

También llamada inyectora, esta bomba es un dispositivo capaz de elevar, a través de un fluido, la presión del combustible hasta un nivel adecuado y moderado y lo suficiente para que, en el proceso de inyección, en el motor esté lo suficientemente pulverizado. Y siendo uno de los elementos más importantes del sistema de inyección de un vehículo se lo debe cuidar bien ya que debe estar sincronizada con el movimiento del motor mediante un acoplamiento flexible.



Figura 7. Bomba Inyectora. (GIACOSA, 2005)

El sistema de inyección es el responsable de administrar el combustible en el motor y hacia el mismo. Está compuesto de una etapa de baja presión y otra de alta, en esta última es donde se encuentra la bomba y ésta genera la presión requerida para suministrar el combustible al motor y al circuito de alta presión. La bomba también se alimenta a través de este circuito de baja presión, el cual está encargado de transportar el combustible desde el depósito y poder filtrarlo para garantizar que entre en el circuito de alta presión pero totalmente o casi libre de impurezas y humedad. El sistema puede variar dependiendo del tipo de sistema de inyección y de las características de la bomba la cual está integrada con la bomba de alta presión.

## Funcionamiento

La bomba inyectora recibe el movimiento, generalmente desde el motor, que a través de la distribución gira en forma sincronizada con el mismo. Este giro permite regular la presión mediante un tornillo que no posee un circuito eléctrico. Esta regulación de caudal se hace mediante una corredera anular que logra abrir y descargar del émbolo de presión lo que tarde la posición del pedal y el régimen del motor; al abrir

esta descarga la presión de apertura del muelle da por terminada la inyección. Los émbolos de los cilindros se accionan por la presión del combustible a través del árbol de levas, que se debe desplazar con un ángulo de giro exactamente igual al ángulo de cada pistón del motor haciendo que la inyección suceda en el mismo momento tanto en los pistones como en los inyectores. Pero, al girar el árbol de levas se inicia el movimiento de los impulsadores y los émbolos que están ubicados en los cilindros de la bomba por medio de émbolos para que puedan enviar el carburante a los inyectores por medio de la cámara de combustión del motor.

Es interesante que el funcionamiento de la bomba de inyección es parecido al conjunto camisa-pistón de un motor común y corriente, y gracias a la conexión del árbol de levas con el motor se permite sincronizar la bomba de inyección con respecto al funcionamiento de éste, y gracias a los avances tecnológicos se ha podido desarrollar actuales y modernos sistemas como TDI, HDI Common Rail y el sistema Inyector-Bomba.



Figura 8. Bomba de inyección. (GIACOSA, 2005)

De acuerdo a las bombas de inyección tenemos dos tipos adecuados al estudio, las bombas en línea y las bombas rotativas.

### **Bombas de Inyección en Línea**

Este tipo de bomba fue la primera en desarrollarse para la inyección de diesel tiene y aún es utilizado en múltiples aplicaciones, muy específicamente en los vehículos comerciales pesados debido la generación de presiones sumamente altas demandadas

por los grandes motores una constitución muy robusta y muy contrastada en su fiabilidad mecánica pero sus inconvenientes vienen por su tamaño, su peso y su número de revoluciones, que gracias a esto se vuelven aptas para vehículos pesados o de carga.

Las bombas de inyección en línea están instaladas junto al motor, y son accionadas por el mismo motor de vehículo. Cada cilindro del motor está conectado a uno de los elementos de la bomba dispuestos en línea, por eso su nombre de bomba en línea. Además, este mecanismo de disposición de un elemento para cada cilindro garantiza la alta presión necesaria en vehículos medianos y pesados sometidos a condiciones extremas. Dentro de las principales piezas de desgaste de la bomba en línea se encuentran las válvulas y los elementos.

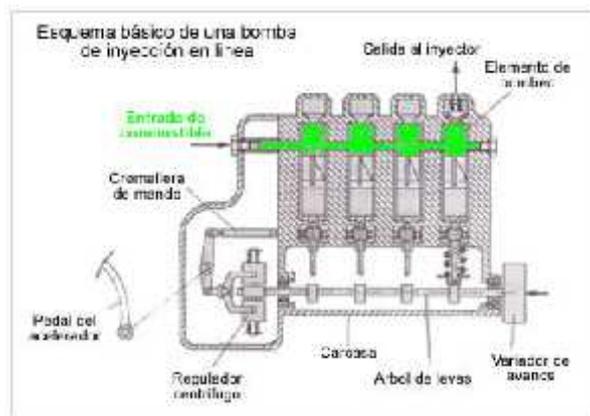


Figura 9. Bomba de Inyección lineal. (GIACOSA, 2005)

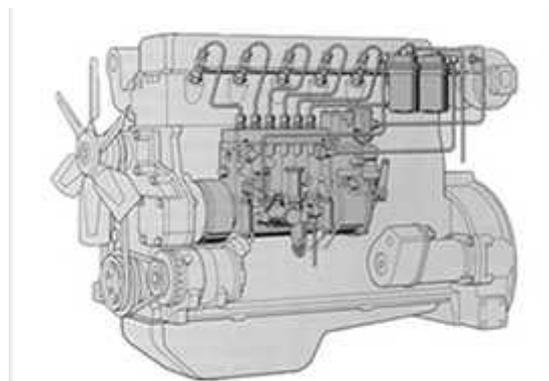


Figura 10. Bomba de Inyección en línea instalada en el motor. (GIACOSA, 2005)

### **Circuito de combustible en la Bomba de Inyección en línea.**

El circuito de alimentación que acompaña a la Bomba de Inyección suministra combustible, y se puede seguir la secuencia de acuerdo a la lista a continuación (Ver figura 11 y 12):

- El circuito tiene un depósito de combustible (1) que posee una boca de llenado, una tela metálica. La bomba de alimentación aspira el combustible del depósito y lo saca bombeando con discreción a una presión muy conveniente, y el sobrante del combustible sale por la válvula de descarga, que también puede estar en el filtro, pero normalmente está en la bomba de inyección mismo, la cual controla la presión del combustible en todo el circuito.
- Cuando la altura y la distancia del depósito están muy alejados se instala una bomba de alimentación (2), la cual normalmente está acoplada a la bomba de inyección.
- Según las condiciones de funcionamiento del motor y de su construcción, se necesitan diferentes sistemas de alimentación en la bomba de inyección, pero esto sería si el filtro de combustible está cerca del motor ya que es posible se forme burbujas en el gas en el sistema de tuberías, claro está, que para evitar esto es necesario realizar un barrido en la cámara de admisión de la bomba de inyección, por medio de la instalación de una válvula de descarga en la cámara de admisión de la bomba de inyección (6).
- En el circuito es indispensable la instalación de una válvula de descarga a través de la cual una parte del combustible retorna al depósito, lo que le permite arrastrar burbujas de gas eventualmente (7).

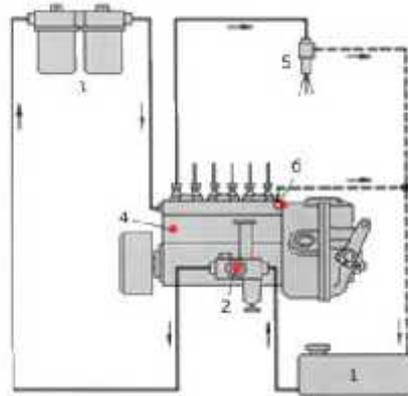


Figura 11. Esquema del sistema de inyección con válvula de descarga en la bomba de inyección. (MIRALLES, 1987)

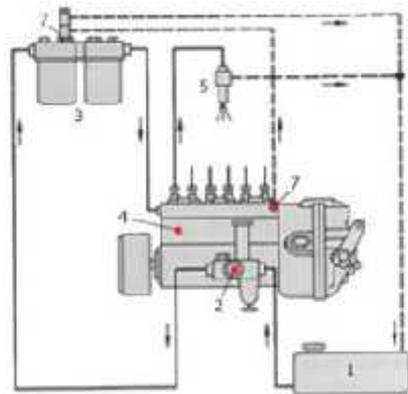


Figura 12. Esquema del sistema de inyección con estrangulador de descarga adicional en el filtro de combustible. (MIRALLES, 1987)

### Bomba rotativa

Las bombas distribuidoras, también conocidas como rotativas, requieren tolerancias y características muy específicas y estrictas para que se obtenga las inyecciones deseadas. El diseño, el concepto y la apariencia son totalmente diferentes a las conocidas bombas en línea y el intervalo de aplicaciones depende del número de revoluciones nominal, potencia y diseño del motor diésel. Estas bombas se emplean en vehículos de turismo, industriales, comerciales livianos y medianos, industriales, tractores y motores estacionarios.

Este tipo de bombas tienen una constitución básica cuyas variaciones van directamente en la gestión electrónica, estas bombas a más de inyectar combustible en los cilindros también tienen la función de aspirar gas del depósito de combustible y

cuando las revoluciones aumentan, la presión aumenta en el interior y esta asciende a un punto donde la válvula actúa como reductora.

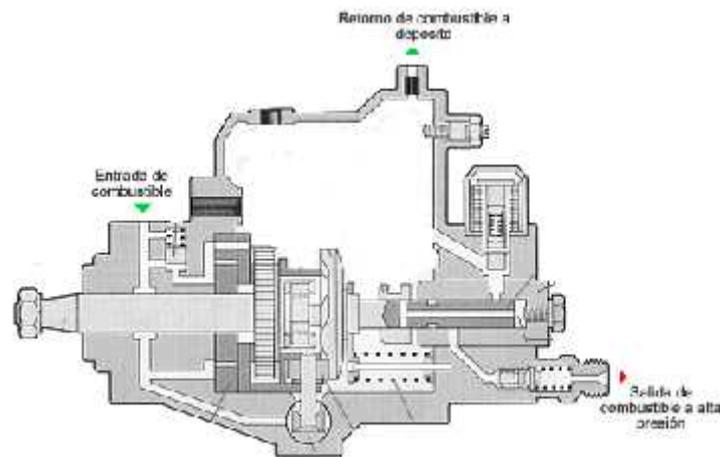


Figura 13. Bomba Rotativa. (MIRALLES, 1987)

Las bombas de inyección rotativas utilizan un solo pistón para los diversos cilindros del motor. A través de un orificio se hace el control de la inyección a cada cilindro. Con el movimiento rotativo del pistón, el orificio coincide con la línea de alta presión conectada a un inyector específico, este movimiento es el que coordina la secuencia de inyección del sistema. Normalmente las bombas rotativas son más compactas y livianas que las bombas en línea y soportan mayores revoluciones y pueden funcionar en cualquier posición. A lo largo de la vida útil de la bomba se permite muchas reparaciones.

### **Circuito de combustible en la Bomba de Inyección Rotativa.**

La bomba de inyección se acompaña de un circuito de alimentación que le suministra combustible y a través del combustible, la bomba aspira el combustible del depósito, lo bombea hacia la bomba de inyección a una presión conveniente, el sobrante del combustible tienen salida a través de la válvula de descarga situada en la bomba de inyección, esta válvula de descarga controla la presión del combustible en el circuito.

El circuito de alimentación que acompaña a la Bomba de Inyección Rotativa suministra combustible con una estrangulación acoplada al conducto de retorno para el

mismo combustible, y cuya función es la de evacuar el aire del combustible y poder enviarlo de regreso al depósito, así:

- Inyección del combustible (1), paso al filtro de combustible (2), pasa al depósito de combustible (3), viaja a la válvula reductora de presión donde cruza por la conexión de retorno (5) y termina en la bomba de alimentación (6). (Ver figura 14).

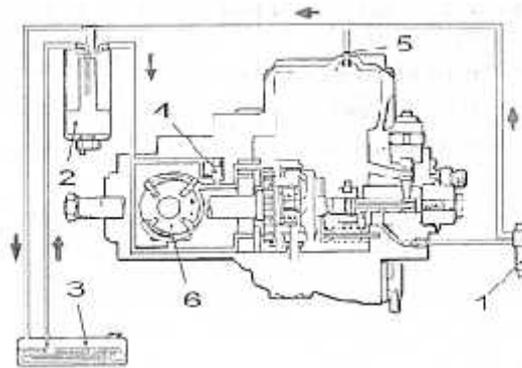


Figura 14. Circuito de combustible exterior e interior de alimentación de la bomba. (MIRALLES, 1987).

### Componentes electrónicos de la Bomba de Inyección

Los componentes electrónicos son importantes en todo el proceso de inyección ya que tienen como objetivo el de regular lo que se inyecta en cada ciclo del motor y efectuar el avance de la inyección. En los sistemas de inyección Diésel con control electrónico se cuantifican y se transforman en señales eléctricas mediante sondas, a continuación algunos de estos componentes:

- Ralentí.- Controla electrónicamente los gases de escape tanto el reciclado como el de paso por el turbocompresor, además que regula el mando principal de la bomba de inyección.
- Microprocesador del turbocompresor.- Controla la presión en el aire de admisión generada por el turbocompresor, este control es efectuado mandando señales a dos válvulas electromagnéticas y generan datos los mismos que se almacenan en la memoria en forma tridimensional.

- c. Sistema electrónico de control.- Permite controlar la presión del cilindro hidráulico de mando, de manera que la presión del combustible por la bomba se transfiera al exterior de la misma

Los componentes electrónicos logran que en la bomba no sea necesario hacer reglaje ya que no dispone de mandos mecánicos, el único reglaje permitido es el que viene motivado por el caudal de inyección a los cilindros preconizado por el fabricante que se verifica en el banco de pruebas, ya sea en el laboratorio o en el taller, además tiene ventajas con respecto a los componentes mecánicos los cuales permiten lo siguiente:

- No es necesario que la bomba gire para encontrar el ajuste del ángulo de inyección.
- No es necesario un sistema de articulaciones entre el pedal del acelerador y la bomba de inyección.
- No se necesita dispositivo de arranque en frío.
- Necesita corrector de sobrealimentación para turbo.
- No se necesita ajustar el ralentí.

### **Mantenimiento de la bomba diésel**

Hay que realizar mantenimiento adecuado y preventivo en la bomba diésel, pero siempre hay ventajas y desventajas de ese manteniendo. A continuación las ventajas y desventajas:

#### **Ventajas**

1. Hay la presencia de hasta 2050 bar de alta presión en el proceso de inyección.
2. Da un comienzo de la inyección variable.
3. Existe una inyección previa.
4. Los niveles de emisión de los contaminantes es reducido.
5. Existe una mejor combustión, por ende un mejor rendimiento.
6. Se produce una mayor rigidez de accionamiento al prescindir de los balancines.

## Desventajas

1. Luego de realizar el mantenimiento el motor puede demorar en arrancar o si arranca puede luego pararse.
2. El motor pierde potencia.
3. Si existe daño en la bomba se necesita una programación adecuada para que el motor no pase mucho tiempo parado.
4. Es costoso y se necesita material y equipo especializado.

## Inyección diésel

Se encarga de llevar el combustible desde el tanque hasta los cilindros. (Ver figura 15). Los principales componentes son la bomba de inyección y los inyectores, ambos están unidos por la línea de alta presión.

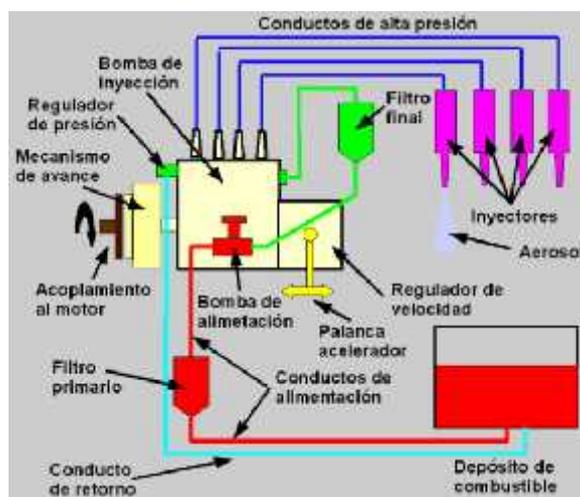


Figura 15. Sistema de inyección. ( [www.tallerdemecanica.com/taller-bosch](http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch), 2008).

## Funcionamiento en inyección diésel

Si el control es electrónica la presión del combustible oscilará entre 400 y 2000 bar según sea el requerimiento del motor y el régimen del mismo para poder ser sincronizado con el funcionamiento de las válvulas y así generar un orden adecuado de inyección requerido por el número de cilindros del motor y la posición del pedal del acelerador y como los motores a diésel no posee mariposa de control, el aire no es regulado por el conductor.

## Inyectores

El inyector diésel es el componente del sistema de inyección, que se encarga de introducir el combustible finamente pulverizado en la cámara de combustión.

Dependiendo que inyectores sean, es decir para motores de inyección directa o indirecta, su construcción y morfología es diferente. Los inyectores llamados de orificios son los de inyección directa y los de tetón de inyección indirecta. Realmente esta característica mencionada es de la tobera, que es el principal componente que se sustituye en el inyector cuando se repara. El inyector es el elemento que nos permite determinar externamente, si un motor es de inyección directa o indirecta. (MIRALLES, 1986).

Piezas importantes en todo este sistema ya que se encarga de introducir el combustible en el colector de admisión o en el cilindro y de regular el mismo. Estas pequeñas piezas permiten regular la proporción estequiométrica por el exceso de aire que siempre habrá y como no hay mariposa que pueda regular el aire, se lo controla desde afuera con régimen proporcional, teniendo algunos beneficios:

- a. Regula la cantidad de combustible.
- b. Mantiene la relación estequiométrica entre e aire y el combustible.
- c. Permite el ahorro del combustible.
- d. Logra un equilibrio en la contaminación ambiental.

Con las primeras gestiones electrónicas para motores diésel se utilizaban inyectores con sensor de movimientos de aguja o inyectores pilotados, o como se denominan vulgarmente, los inyectores con cable. Son inyectores mecánicos completamente iguales a los convencionales y pueden ser reparados sin ningún problema. Su diferencia se encuentra en el hecho de llevar una bobina eléctrica en la parte superior que detecta el movimiento de la aguja de la tobera, lo que supone de hecho el comienzo real de la inyección.

### Verificación limpieza del Inyector

Si sabemos que el inyector tiene algún tipo de problema en su funcionamiento, deberá procederse al desmontaje del mismo para verificar el estado de sus componentes y realizar una óptima y oportuna limpieza de los mismos, la cual se efectúa con varillas de latón con punta afilada y cepillos de alambre o de latón. Con estos materiales (Ver figura 17) se limpian las superficies externas e internas de la tobera y la aguja, para retirar las partículas de carbonilla depositadas en ellas, sin producir ralladuras que posteriormente dificultarían el funcionamiento.



Figura 16. Fases de la limpieza de componentes del inyector. (www.maquinac.com, 2014)



Figura 17. Materiales de limpieza para los componentes del inyector. (www.maquinac.com, 2014)

Las incrustaciones fuertes en lugares poco accesibles, como el taladro de la tobera, pueden ablandarse sumergiendo está en agua mezclada con sosa cáustica y detergente. Posteriormente debe ser limpiada y secada, para sumergirla a continuación en un derivado del petróleo hasta el momento del montaje.

### Comprobación o verificación de componentes del Inyector

En lo que se refiere a la verificación de componentes, deberán inspeccionarse las caras de unión del soporte de la tobera y del porta inyector. Si existen ralladuras, corrosión o deformaciones, deberán sustituirse inmediatamente. También se examinarán las superficies de acoplamiento de la aguja del inyector y la tobera. Un tono azulado de estas superficies indica que han funcionado a temperaturas excesivas, a las cuales, pueden producirse el destemplado del material, por cuya causa deben ser sustituidas ambas piezas. Si se encuentran ralladuras en estas zonas, deberán ser sustituidos estos componentes, teniendo en cuenta el ajuste entre la aguja y su tobera.

Se comprobará igualmente que la aguja se desliza fácilmente en el interior de la tobera, sin agarrotamiento ni holguras. Colocada la tobera en posición vertical (Ver figura 18), la aguja debe caer hasta el fondo del asiento por su propio peso. Apretándola ligeramente con la mano contra su asiento, al invertir la posición de la tobera, la aguja debe mantenerse sobre su asiento, si ambos están impregnados de un derivado del petróleo y, al golpearla ligeramente con los dedos, deberá caer libremente. En caso de que esto no ocurra, deberá efectuarse nuevamente la limpieza y desincrustación y, si esto no fuese suficiente, se sustituirá el conjunto.



Figura 18. Colocación de la tobera en posición vertical. (www.maquinac.com, 2014)

En el porta inyector deberá comprobarse que la varilla de empuje no esté deformada ni presente señales de golpes o deformaciones, prestando especial atención a su estado de desgaste. También debe comprobarse el estado del muelle y el dispositivo de reglaje.

Finalizadas las operaciones de verificación y limpieza del inyector, deberá comprobarse la elevación de la aguja en su asiento, la cual está limitada en el funcionamiento durante la inyección, cuando el extremo superior de la aguja hace contacto con la superficie de acoplamiento del porta inyector. La elevación de la aguja debe estar dentro de ciertos límites, si se quiere obtener una inyección eficaz y una duración razonable de la tobera, no será suficiente para permitir el paso de toda la carga de combustible sin restricciones, lo cual provoca un descenso considerable de la presión necesaria para que el combustible salga a través de los orificios de la tobera, con lo cual, empeora la penetración y la pulverización en la cámara de combustión. Por lo contrario, una elevación excesiva provoca un fuerte golpe de la aguja contra su asiento en el momento de cierre, que acorta considerablemente la duración de la tobera.

### **Principios básicos de inyección del combustible**

El proceso de combustión en el motor diésel que influye muy fuerte en algunos factores tales como el rendimiento, emisiones de gas de escape y sobre todo el nivel de ruido, y todo esto depende en gran medida de cómo se prepara la mezcla aire-combustible. Hay parámetros que la inyección sigue normalmente y son cada vez más influyentes en la calidad de la mezcla formada por:

- Inicio de la inyección.
- Curva de inyección y duración.
- Presión de inyección.
- Número de inyecciones.

Los gases de escape y el ruido de la combustión en el motor a diésel pueden ser reducidos con medidas dentro del motor controlando el proceso de combustión y los parámetros de inyección.

## **Resultados**

### **Parámetros de inyección**

#### **Inicio de la inyección**

El efecto decisivo en la inyección es el punto que se inyecta el combustible dentro de la cámara de combustión, donde inicia la mezcla, y por lo tanto sobre el nivel de emisiones, el consumo de combustible y el ruido de la combustión, por lo tanto el inicio de la inyección juega un papel importantísimo en la optimización del rendimiento del motor.

Este inicio se especifica en la posición del cigüeñal en grados con respecto a la posición del cigüeñal en el punto muerto superior PMS, en donde se abre la compuerta del inyector y el combustible ingresa a la cámara. De acuerdo a esto, el grado de la mezcla de aire y combustible depende también del inicio de la inyección, este inicio afecta a las emisiones y partículas de elementos tales como: óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados y monóxidos de carbono.

El sistema common-rail comparado con el sistema de levas, ofrece mayor grado de libertad para elegir la cantidad, el instante y la presión de inyección y como la presión del combustible es generado por una bomba de alta presión, es separada y la inyección es controlada por un solenoide para que pueda optimizar la inyección para cada punto de operación con el sistema de control del motor.

#### **Duración de la inyección en la bomba**

Luego de analizar los parámetros, se puede entrar a la duración de la inyección. Durante este período la tobera del inyector pasa abierta y el combustible fluye libremente en la cámara de combustión. Este nuevo parámetro se especifica en grados del cigüeñal o del árbol de levas. Ahora, con el objetivo de minimizar el consumo de combustible y las emisiones, la duración de la inyección debe ser definida en función del punto de operación y del buen inicio de la inyección.

En todo caso en los sistemas de duración, la generación de presión y del suministro de la cantidad de combustible inyectado, está vinculado con la leva y la misma bomba inyectora, y así repercute directamente en las características de la inyección en los siguientes aspectos:

- La presión se incrementa desde el inicio de la inyección y desciende hasta llegar al valor en el cierre de la compuerta del inyector.
- Al poder observar un aumento en la velocidad del motor, esto es en el incremento de la presión de inyección y la cantidad de combustible inyectado.
- A baja presión se inyectan pequeñas cantidades de combustible.
- La curva de inyección tienen una forma triangular, aproximadamente. Esta curva refiere a que existe carga parcial y baja velocidad del motor.

En los motores de inyección indirecta se utilizan inyectores tipo chupón para producir un único chorro y poder definir la curva de inyección. Este tipo de compuertas controlan la sección transversal de salida en función de la elevación de una aguja y esto provoca un incremento gradual de presión y una combustión más silenciosa.

### **Tipos de inyección**

De acuerdo al estudio se clasificará en cuatro tipos de inyección:

1. Según el lugar donde inyectan
  - a. Inyección directa.- El o los inyectores introduce el combustible directamente en la cámara de combustión.
  - b. Inyección indirecta.- El o los inyectores introducen el combustible en el colector de admisión encima de la válvula de admisión.
2. Según el número de inyectores
  - a. Inyección monopunto.- Solo hay un inyector que introduce el combustible en el colector de admisión y después en la mariposa de los gases.

- b. Inyección multipunto.- Hay un inyector por cilindro pudiendo ser de inyección directa o indirecta
3. Según el número de inyecciones
- a. Inyección continua.- Los inyectores introducen el combustible de forma continua en los colectores dosificadamente y a una presión adecuada y puede ser constante o variable.
  - b. Inyección intermitente.- El inyector abre y cierra según reciba órdenes de la central de mando, a su vez la intermitente se subdivide en tres:
    - Inyección secuencial.-El combustible es inyectado en el cilindro con la válvula de admisión abierta pero de forma sincronizada.
    - Inyección semise secuencial.- Los inyectores se abren y cierran de forma secuencial de dos en dos.
    - Inyección simultánea.- La inyección proviene de todos los inyectores a la vez, es decir se abren y cierran todos al mismo tiempo.
4. Según las características de funcionamiento
- Inyección mecánica.- Sistema que regula la entrega de combustible desde el colector de admisión a los cilindros por medio de señales mecánicas.
  - Inyección electromecánica.- Sistema que combina la parte mecánica con la electrónica
  - Inyección electrónica.- Sistema que con ayuda de la electrónica se regula la dosificación de combustible a la atmósfera y a la vez optimizar el consumo del mismo dentro del motor.

Luego de analizar los tipos de inyección, se analizará los sistemas de inyección y tenemos: TDI, HDI Common Rail y el Inyector-Bomba.

### **Sistema TDI**

Un sistema de inyección directa, donde el combustible se inyecta directamente encima del pistón o sobre su cabeza para poder mejorar el rendimiento del motor con respecto al anterior sistema de combustión en la pre cámara. Entonces, cuanto más elevada sea la presión con la que se inyecta el combustible más fina será la pulverización realizada en la cámara de combustión del motor, generando una mezcla más intensa de combustible que contiene también partículas de aire. Además, cuánto más sea la intensidad del proceso, mayor es la eficiencia de la combustión. Esto permite un alto rendimiento y sobre todo un alto aprovechamiento energético del combustible lo que contribuye a posibles reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>. (GERSHLER, 1985)

Los inyectores que intervienen en el proceso, forman parte de un sistema de inyección diésel donde se accionan por medio de la presión enviada por la bomba en cada ciclo de inyección los cuales son mecánicos.

### **Ventajas del sistema TDI**

- Elevada economía, es decir ahorro de combustible.
- El número de revoluciones son bajas pero desarrollan potencia
- Costos inferiores

### **Sistema HDI Common Rail**

Este sistema permite un mayor rendimiento y un menor consumo de combustible ya que es un sistema de inyección por tubería común, el cual consiste en un sistema de inyección directa multipunto y se emplea solo en motores a diésel. El sistema de inyección por acumulador es considerado más flexible en comparación a los sistemas rotativos, pues se adaptan mucho mejor al funcionamiento del motor debido a que la inyección y la presión se generan en sentidos diferentes.

La activación de los inyectores en este sistema se realiza mediante un impulso eléctrico enviado por medio de una unidad de control por lo que los inyectores deben

ser electromecánicos, para generar mayores inyecciones en cada ciclo y menores emisiones contaminantes y reducciones de ruido, como es el papel importante que cumplen los elementos que forman parte del sistema HDI (Ver figura 19).

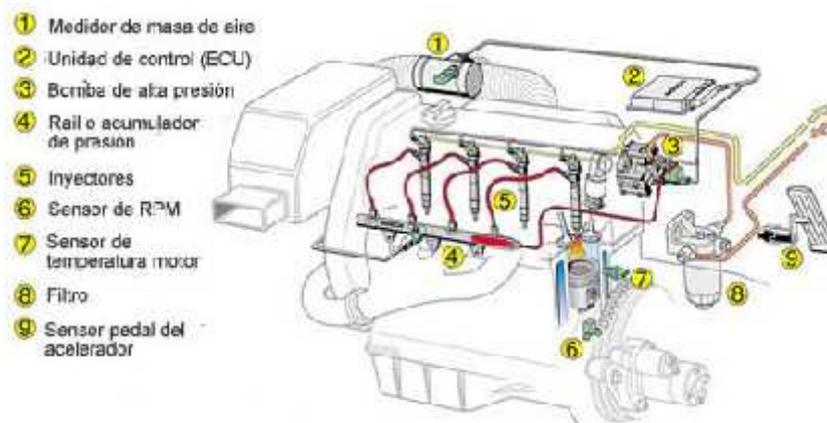


Figura 19. Sistema de inyección Common-rail.(BOSCH, 2005)

### Sistema Inyector-Bomba

Es un sistema que une la generación de la presión con la inyección del combustible dentro de la misma cámara de combustión, que, a diferencia del Common rail que la presión está en el conducto, el inyector solo decide cómo y cuándo dejar de dar paso al combustible, así cada cilindro tiene su propio inyector-bomba. El accionamiento es mecánico de este sistema y logra una presión necesaria y producida por el árbol de levas el cual se encarga de la apertura y cierra de las válvulas. (GERSHLER, 1985).

Este sistema consta de una alimentación de combustible a baja presión y otra a alta presión, ambas con una electrónica de control adecuada que consta de sensores y actuadores. Estos a su vez inyectan la cantidad correcta y en el momento oportuno con la presión ideal. Es importante que el período de retraso del auto ignición sea lo más rápido posible. La ventaja de este sistema es que a mayor presión de inyección la emanación de contaminantes es menor.

## **Reparación de la bomba de Inyección**

En las bombas antes de efectuar la reparación se debe realizar una correcta y minuciosa inspección, este es un proceso normal de mantenimiento, pero a su vez muy importante ya que se debe mantener el combustible limpio y realizar un chequeo periódico y siempre de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Para poder realizar la reparación es necesario un examen preliminar.

### **Examen Preliminar**

Para poder iniciar la investigación si hay o no una avería en la bomba y así localizar los defectos es necesario realizar una prueba de funcionamiento correcta. Pero antes de efectuar cualquier comprobación o ajuste en el sistema y cumplir algunas reglas:

- a. La temperatura del combustible del motor no debe exceder de los 110°F.
- b. Las piezas del motor deben estar en buenas condiciones y totalmente sincronizadas las válvulas e inyectores, además de estar bien ajustados.
- c. Los instrumentos deben tener la máxima precisión y exactitud.
- d. El acelerador debe estar totalmente abierto para, cuando se cierra el tornillo de ajuste se escurra.

Ahora si se podrá desmontar la bomba y visualizar si está en buenas condiciones para luego introducirla en el banco de pruebas para proceder al desarmado. Previamente al desarmado se debe limpiar el exterior de la bomba con un solvente adecuado, y una vez limpiado procedemos al desarmado parte por parte bajo el siguiente orden:

1. Válvula de paro eléctrica.
2. Amortiguador de pulsaciones.
3. Resorte del gobernador.
4. Bomba de engranes.
5. Malla e filtro de bomba de combustible.
6. Cubierta de la bomba.
7. Conjunto de Tapa delantera.

### **Limpieza e inspección**

- Todas las piezas deben ser limpiadas a excepción del solenoide con solvente de petróleo, también se debe evitar mojar la bobina del solenoide con el solvente con un trapo limpio y suave.
- Examinar visualmente la válvula y el asiento de la misma para observar si hay o no desgaste, falla en la adherencia o presencia de corrosión.
- Probar la bobina con un óhmetro para observar si los valores están dentro de la norma establecida en las tablas de fabricación.
- El solenoide antes de ser probado, el interruptor de arranque debe estar en apagado.
- Se procede al armado de la bomba

### **Lubricación de la bomba**

En la mayoría de los casos se lubrican por medio del circuito lubricante del motor. Esto es, se lubrica tanto en la parte de la bomba como el regulador centrífugo de velocidad, así con esta lubricación la bomba de inyección estaría exenta de mantenimiento y ser lubricada.

En los casos de bombas de inyección sin conexión al circuito de aceite de motor, el aceite lubricante se cambia cuando se desmonta la bomba de inyección o cuando el motor entra a revisión general. El nivel de aceite se controla al mismo tiempo que se realizan los cambios de aceite del motor previstos por el fabricante, el aceite sobrante se vacua.

### **Calibración de la Bomba de Inyección**

En todo tipo de bombas de inyección, luego de una completa reparación, se debe calibrar siguiendo las tablas de las especificaciones que vienen directamente del fabricante, conjuntamente con las tablas de calibración de cada tipo de bomba. Es importante saber el propósito de la calibración el cual es efectuar los ajustes necesarios

antes de instalar la bomba en el motor lo cual asegura un mejor rendimiento del motor y dentro de las especificaciones del fabricante.

### **Procedimiento para probar la bomba de inyección**

Este procedimiento se lo aplica para las pruebas de medición en el banco de pruebas de la bomba de combustible con la hoja de especificaciones que corresponda al modelo y siguiendo los siguientes pasos:

- Lubricar con aceite SAE 30 o un equivalente.
- Una vez instalada la bomba en el banco de pruebas, se coloca el tornillo de la válvula de paro en posición abierta.
- Se debe instalar la válvula de 1/8 y purgar la línea hacia la válvula de paro.
- Se debe destornillar el interior de la flecha del acelerador para que el pasaje quede totalmente abierto.
- Todas las válvulas del banco deben estar en posición correcta, es decir, la de control de flujo de estar abierta y la de orificio debe estar cerrada.
- Ajustar el flujo de la bomba entre 110 y 122 PSI a 1600rpm.
- Ajustar la succión de la bomba a 6 pulgadas HG.

### **Funciones de la Inyección**

Las funciones de la inyección dependen directamente de la aplicación para que esté destinado el motor:

- Pre inyección.- reduce considerablemente el ruido de la combustión y las emisiones de óxidos de nitrógeno, principalmente en motores de inyección directa.
- Grado positivo de inyección en la inyección principal.- Reduce sustancialmente las emisiones de óxidos de nitrógeno, en motores sin válvula.
- Grado de presión en dos etapas.- Durante la inyección principal donde se reducen las emisiones y las partículas en motores.

- Alta presión constante durante la inyección principal.- Reduce las emisiones de partículas cuando el motor está operando.
- Inyección secundaria.- Reduce emisiones de partículas.
- Inyección secundaria avanzada.- Reduce considerablemente las emisiones de las partículas.

### **Presión de Inyección**

La presión generada en el sistema de inyección tienen como fin que el combustible salga totalmente del inyector en forma de chorro fijo, es decir, a un sistema con alta presión de inyección se puede conseguir un chorro que salga más pulverizado, esta pulverización produce una colisión en el combustible con el aire en el interior de la cámara de combustión, causando la atomización del combustible, así, cuando más sea la densidad del aire mejor será la atomización del combustible dentro de la cámara.

### **Aplicaciones de la bomba de diésel**

Los motores diésel tienen una característica especial, su rentabilidad, especialmente en aplicaciones comerciales y tienen varias aplicaciones y varias ejecuciones:

- Fácil accionar para grupos electrógenos móviles de hasta 10kw/cilindro.
- En motores de funcionamiento rápido para turismos y vehículos industriales ligeros de 50kw/cilindro.
- En motores para vehículos industriales, es decir maquinaria pesada como autobuses, remolques, volquetas, etc., de 200kw/cilindro.
- En motores estacionarios para grupos electrógenos de emergencia de 160kw/cilindro.
- En motores de locomotoras y barcos de 1000kw/cilindro.
- Cámaras de combustión y sobrealimentación.

Este último es interesante explicarlo. En las cámaras de combustión y sobrealimentación se aplican procedimientos de combustión con cámaras divididas y no

divididas tales como, inyección indirecta y la directa. Como esto genera un menor ruido la aplicación de las bombas diésel a motores es indispensable y que le da confort por la disminución del ruido y de la baja contaminación y concentración de contaminantes en el mismo.

El motor diésel es extraordinariamente adecuado para la turbo alimentación por gases de escape, este escape no solo aumenta el aprovechamiento de potencia sino también mejora el grado de rendimiento. La aplicación del sistema de inyección common rail en motores de inyección directa se usa actualmente en casi todo vehículo que hay, esto es, automóviles con motores a diésel de todos los tamaños desde utilitarios con motores de tres cilindros, camiones ligeros con motores de hasta 30kw/cilindros, maquinaria de uso agrícola y para la construcción y camiones pesados, locomotoras y barcos. La aplicación de la bomba inyectora en este sistema ofrece una gran flexibilidad en lo relativo a la adaptación de la inyección al motor, esto ha hecho que hoy en día el common rail se haya convertido en el sistema de inyección directa más utilizado en los motores diésel y sobre todo con una regulación electrónica directa al motor.

### **Regulación Electrónica Diésel**

El control electrónico del motor diésel permite una configuración adecuada con los parámetros de inyección precisa y variable cuyas adaptaciones van de la mano con las condiciones de funcionamiento, solo así puede satisfacer los múltiples requisitos planteados a un motor diésel moderno.

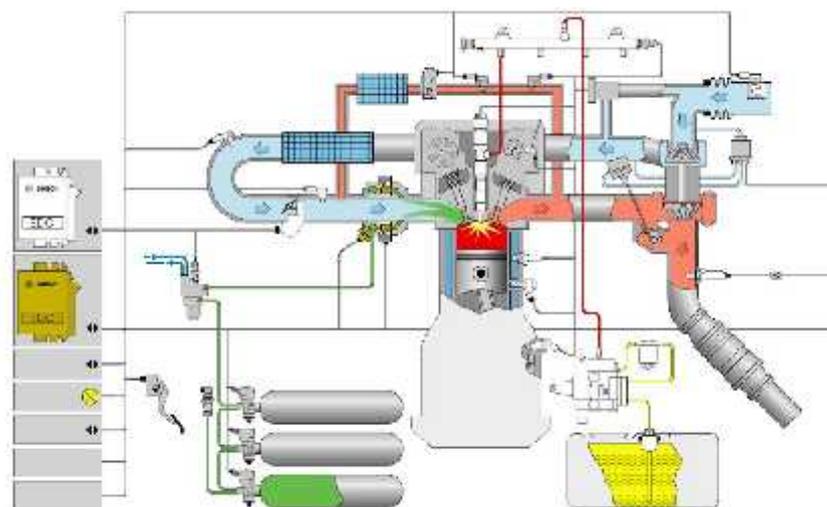


Figura 20. Sistema de regulación electrónica de BOSCH. (www.maquinac.com, 2014)

La reducción del consumo de combustible y de las emisiones de sustancias nocivas como óxidos de nitrógeno, gas carbónico y partículas con un incremento simultáneo de la potencia o del par motor constituyen los objetivos de desarrollo actuales en el sector de la técnica diésel. Esto ha originado en los últimos años una mayor utilización de motores diésel de inyección directa y gracias a la mejor formación de la mezcla se ha conseguido reducir entre un 10 a un 20% el consumo de combustible de estos motores en comparación con los usados anteriormente de inyección indirecta. Además a los nuevos motores diésel se les plantean elevadas exigencias en relación con el confort de las marchas y con las emisiones de ruido y contaminantes. Esto conduce a un aumento de los requisitos del sistema de inyección y a su regulación con respecto a:

- Las altas presiones de inyección.
- Conformación del desarrollo de inyección.
- Inyección previa y, en su caso, inyección posterior.
- Caudal de inyección, presión de sobrealimentación y comienzo de inyección adaptados a todos los estados de servicio.
- Caudal de arranque dependiente de la temperatura.
- Regulación del régimen de ralentí independiente de la carga.
- Recirculación regulada de gases de escape.
- Regulación de la velocidad de marcha.

La regulación mecánica de revoluciones convencional registra con diversos dispositivos de adaptación los distintos estados de servicio y garantiza una gran calidad de la preparación de la mezcla. Sin embargo, se limita a un circuito regulador sencillo en el motor y no puede registrar diversas magnitudes de importante influencia, o no las registra con suficiente rapidez. El sistema de regulación electrónica de diésel evolucionó, a medida que aumentaban las exigencias, de un sistema sencillo con eje actuador activado eléctricamente a un complejo control electrónico del motor que tiene que procesar un gran número de datos en tiempo real.

### **Funcionamiento de la Regulación Electrónica Diésel**

La Regulación Electrónica Diésel moderna es capaz de satisfacer dichas exigencias, gracias al incremento de la capacidad de cálculo de los microprocesadores. Contrariamente a los vehículos diésel con bombas convencionales de inyección reguladas mecánicamente, en un sistema de regulación, el conductor no tiene ninguna influencia directa sobre el caudal de combustible inyectado a través del pedal del acelerador y un cable de accionamiento. El caudal de inyección se determina, en función de diferentes variables:

- Deseo del conductor, es decir, la posición del pedal del acelerador
- Estado de servicio
- Temperatura del motor
- Intervención de otros sistemas
- Efectos sobre las emisiones de contaminantes

El caudal de inyección se calcula a partir de estas variables. También pueden variar en el momento de la inyección. Esto requiere un extenso concepto de seguridad que reconoce las desviaciones que se producen y aplica las correspondientes medidas conforme a sus efectos (limitar el par motor, por ejemplo). El sistema de regulación electrónica, contiene por ello varios circuitos reguladores. La regulación electrónica diésel permite también el intercambio de datos con otros sistemas electrónicos como por ejemplo el ABS. Con ello se puede integrar el control del motor en el sistema total del

vehículo, así el sistema de regulación electrónico está completamente integrado en el sistema de diagnóstico del vehículo.

La regulación electrónica diésel se divide en tres bloques de sistema:

1. Sensores y transmisores de valor teórico: registran las condiciones de servicio, esto es, número de revoluciones del motor y los valores teóricos, la posición del pedal del acelerador, transformando las magnitudes físicas en señales eléctricas.
2. La unidad de control: procesa las informaciones de los sensores y transmisores de los valores teóricos en base a determinados procesos de cálculo matemáticos. Controla los elementos de regulación mediante señales de salida eléctricas. La unidad de control viene a ser además la interfaz hacia los demás sistemas para el diagnóstico del vehículo.
3. Elementos de regulación (actuadores): transforman las señales eléctricas de salida de la unidad de control en magnitudes mecánicas (por ejemplo, de la electroválvula para la inyección).

### **Procesamiento de datos de la Regulación Electrónica Diésel**

El deber esencial o primordial del sistema de regulación es el control del caudal y del momento de inyección. El sistema de inyección common rail también regula la presión de inyección. Además, la unidad de control del motor controla los diferentes elementos actuadores en todos los sistemas. La regulación de la inyección debe estar adaptada a cada vehículo y a cada motor. Solo así pueden interactuar todos los componentes de forma óptima. La unidad de control evalúa las señales que recibe de los sensores y las limita a un nivel de tensión admisible. El microprocesador calcula a partir de estos datos de entrada y según los mapas almacenados, el momento y la duración de la inyección, y las transforma en señales características que están adaptadas a la carrera del pistón. Este programa de cálculo se denomina “ECU software”. Debido a la precisión requerida y al alto dinamismo del motor diésel, es necesaria una gran capacidad de cálculo. Mediante las señales de salida se activan los elementos que suministran la potencia eléctrica correspondiente a los actuadores.

### **Caudal de arranque**

Al efectuar el arranque se calcula el caudal de inyección en función de la temperatura del líquido refrigerante y de la precisión de giro del motor. Las secuencias para determinar el caudal de arranque se emiten desde el momento de la conexión del interruptor de encendido hasta que se alcanza el número de revoluciones mínimo. El conductor no tiene ninguna influencia sobre el caudal de arranque.

### **Servicio de marcha**

Bajo servicio de marcha normal, se calcula el caudal de inyección en función de la posición del pedal del acelerador y del número de revoluciones. El cálculo se basa en diagramas de curvas características y otras variables que recibe de los sensores. De esta forma, la potencia del vehículo se adapta mejor a los deseos del conductor.

### **Regulación de ralentí**

La función de regulación del ralentí es ajustar un régimen teórico definido del ralentí cuando el acelerador no está accionado. Este régimen teórico puede variar en función del estado de servicio del motor; así, por ejemplo, se establece normalmente un número de revoluciones al ralentí mayor cuando el motor está frío que cuando está caliente. El ralentí debe ser lo más bajo posible por motivos de consumo y de emisiones.

### **Regulación del número de revoluciones final**

En este punto se protege el motor, deteniendo la inyección, cuando se supera el número máximo de revoluciones determinado.

### **Amortiguación activa de tirones**

En un cambio de carga repentino, el cambio del par motor provoca vibraciones y tirones en la cadena cinemática del vehículo. El amortiguador activo de tirones reduce estas oscilaciones periódicas del régimen, variando el caudal de inyección con el mismo periodo de oscilación; al aumentar el número de revoluciones, se inyecta menos caudal; y viceversa.

### **Regulación de la suavidad de marcha**

Debido a tolerancias mecánicas y a envejecimiento, no todos los cilindros del motor generan el mismo par motor. Esto tiene como consecuencia un funcionamiento no parejo en sentido circular del motor, especialmente al ralentí. El regulador de la suavidad de marcha determina las variaciones del régimen después de cada combustión y las compara entre sí. El caudal de inyección para cada cilindro se ajusta entonces en base a las diferencias de revoluciones, de forma tal que todos los cilindros contribuyen por igual a la generación del par motor. El regulador de suavidad de marcha actúa únicamente en el margen inferior de revoluciones.

### **Limitación del caudal de referencia**

No siempre debe inyectarse el caudal de combustible deseado por el conductor o físicamente posible, por las siguientes razones:

- Existe una emisión excesiva de contaminantes y/o partículas.
- Hay una posible sobrecarga mecánica debido a un par motor excesivo o exceso de revoluciones.
- Hay una posible sobrecarga térmica debido a temperatura excesiva de los gases de escape, del líquido refrigerante, del aceite o del turbocompresor.

### **Corrección de altura**

A medida que aumenta la altitud, desciende la presión atmosférica. Por este motivo también disminuye el llenado del cilindro con aire de combustión. Si se inyectara el mismo caudal que con la presión atmosférica alta, se produciría una expulsión de humos excesiva a causa de la baja concentración de aire.

El sensor de presión del entorno registra la presión atmosférica. Con ello es posible reducir el caudal de inyección cuando se está a mayor altitud. La presión atmosférica también influye en la regulación de la presión de sobrealimentación y la limitación del par motor.

**Desconexión de cilindros**

Si se desea un par motor reducido a altos regímenes de giro del motor, se tiene que inyectar muy poco combustible. Otra alternativa es desconectar cilindros. Para esto se desconectan la mitad de los inyectores y los restantes inyectan un caudal de combustible mayor. Este caudal puede dosificarse con una precisión más alta.

**Parada del motor**

El principio de operación de auto detonación tiene como consecuencia que el motor diésel solo pueda pararse interrumpiendo la entrega de combustible al sistema de inyección. En el caso de la regulación electrónica diésel, el motor se para mediante la orden de la unidad de control como orden cero de caudal de ingreso.

## Discusión

En la presente discusión no se pretende mostrar números y estadísticas, por el contrario se presenta la descripción y comentarios sobre los diferentes tipos de bombas y sistemas de inyección diésel, su funcionamiento, mantenimiento, sus circuitos y sobre todo sus componentes. Cabe recalcar que también se da a conocer las ventajas y desventajas que traen los sistemas de inyección diésel.

Es necesario tener presente que con el trabajo de investigación se pudieron afianzar los conocimientos administrativos de los motores diésel y el funcionamiento de la quema siendo una mezcla heterogénea que comienza a formarse dentro del cilindro desde el momento que penetra la primera gota de combustible pero que, una vez producido el autoencendido y el período de rápida combustión generalmente durante un tiempo, la formación de la mezcla con la propia combustión y por tanto la velocidad con la que ésta progresa está condicionada por la misma. Posteriormente se pudieron sugerir las mejores formas de manejo según la bomba que se necesite. Se indicaron las ventajas y desventajas de las bombas de inyección partiendo de los de bomba en línea más tradicionales hasta los actuales más sofisticados y precisos como el “common rail” que permiten alcanzar el nivel de prestaciones, la cual es la más recomendable por ser la más amigable para sistemas a diésel.

Con respecto al mantenimiento en las bombas antes de efectuar la reparación se debe realizar una correcta y minuciosa inspección, este es un proceso normal de mantenimiento, pero a su vez muy importante ya que se debe mantener el combustible limpio y realizar un chequeo periódico y siempre de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Para poder realizar la reparación es necesario un examen preliminar. El sistema de inyección es considerado más flexible en comparación a los sistemas rotativos, pues se adaptan mucho mejor al funcionamiento del motor debido a la inyección y la presión.

## Conclusiones

- Esta investigación ha permitido profundizar la fundamentación teórica de la puesta a punto de la bomba de inyección.
- Facilita al estudiante a lograr un buen desenvolvimiento tanto teórico como en la práctica del mismo.
- En esta investigación se han determinado los procedimientos de selección de especificaciones técnicas características para realizar la calibración y puesta a punto de la bomba de inyección y sus accesorios.
- Para una mejor calibración se deben utilizar únicamente las tablas recomendadas por el fabricante.
- Es posible establecer un análisis de los distintos sistemas de inyección diésel de manera estructurada y comprobar que todos ellos pueden ser sistematizados
- Ha sido posible ver cómo la evolución en el tiempo de estos sistemas no es otra que la consecución de una respuesta más precisa a los requerimientos que conducen a una mejora de la combustión y en consecuencia de las prestaciones del motor como son: potencia específica, par motor, consumo específico y emisiones gaseosas y de nivel de ruido, para la conservación del medio ambiente.

### **Recomendaciones**

- Se debe realizar un montaje seguro de la bomba en el banco, comprobando que la bomba se encuentre bien sujeta al mismo. Se utilizan todas las herramientas necesarias para realizar unas buenas calibraciones.
- Para realizar cualquier calibración siempre debe guiarse de los valores específicos en las tablas de calibración, teniendo en cuenta el tipo de bomba. Al realizar cualquier ensayo en el banco de pruebas debe realizarse con precaución aplicando todas las normas de seguridad. Para poder mantener el banco de pruebas en buen estado, siempre hay que darle un buen mantenimiento en cuanto al cuidado que le debemos dar con el fin de alargar su tiempo de vida.
- Es importante dotar de mayor material bibliográfico, con el fin de mejorar y facilitar la investigación teórica y desarrollar la técnica, en lo referente a este tipo de bombas.
- Es necesario incrementar en la facultad, bancos de pruebas que permitan realizar calibraciones a mayores números de revoluciones y de tal forma que se obtengan mayores conocimientos técnicos y prácticos.

## Bibliografía

Armas, O. (1999). Diagnóstico experimental del proceso de combustión en motores diesel de inyección directa, España.

Bosch, R. (2005). Sistemas de inyección Diesel por acumulador Common Rail.

Bosch, R. (2005). Manual de la técnica del automóvil, 4ª edición española.

Bosch Diesel Center. (2010), Productos Diesel y componentes del sistema de inyección, *Bosch Diesel Center*. Recuperado de <http://www.tallerdemecanica.com/taller-bosch/cursos/mercadodiesel/aplicacion.html>

Diccionario OCEANO, 2014

Dagel, J. (1995). Motores Diesel y Sistemas de Inyección, Editorial Limusa S.A. México D.F

Gershler, H. (1985). Tecnología del Automóvil, Editorial GTZ R.F. Alemania.

Giacosa, D. (2005), Motores endotérmicos, Editorial Hoepli.

Grupo Autofin, (2012, noviembre). Diesel. Recuperado de <http://www.autofinmonterreyblog.com/ventajas-o-desventajas-de-los-motores-diesel/>

Maquinac.con, (2014, octubre). Máquinas y motores. Recuperado de <http://www.maquinac.com>.

Mecánica Virtual. (2008, abril). La Inyección Diesel por inyector – bomba. Recuperado de <http://www.tallervirtual.com/2008/04/09/la-inyeccion-diesel-por-inyector-bomba>.

Tipo de motores. (2014, mayo). Tipos de motores. Recuperado de <http://www.evodelosmotores.webnode.es>.

Miralles, J. (1986). Inyección y Combustión, Editorial CEAC S.A. Barcelona, España.

Miralles, J. (1987, noviembre). Bombas de Inyección a Diesel, Editorial CEAC S.A. Quinta Edición, Barcelona, España.

Sánchez, T., Muñoz, A., Jiménez, F. (2009), Sección de publicaciones ETSI Universidad de Sevilla. *Motores de Combustión Interna Alternativos*.