ALIMENTACIÓN DE LOS MOTORES DE CICLO DIESEL

INTRODUCCIÓN

De igual forma que los motores de ciclo Otto, los Diesel requieren un filtrado exhaustivo del aire que utilizan en la admisión. Los sistemas de filtrado son semejantes a los descritos en el tema anterior, si bien es posible encontrarse, cuando las condiciones de trabajo son extremas, como es el caso de las cosechadoras de cereales, prefiltros centrífugos de grandes dimensiones y eficacia, gracias a los cuales es eliminada la enorme cantidad de partículas que rodean a la máquina durante el trabajo. Para evitar las frecuentes detenciones por saturación del filtro que se originarían, estos filtros están provistos de sistemas continuos de limpieza que dejan caer al terreno las impurezas eliminadas del aire.

Como se expuso en el tema dedicado al ciclo teórico de funcionamiento de los motores alternativos, la alimentación de los Diesel se realiza introduciendo por separado en el interior de los cilindros el aire y el combustible, de forma que el aire se introduce en la admisión, y el combustible, finamente pulverizado, se mezcla con él, en la cámara de combustión, al finalizar la carrera de compresión.

Al comprimir el aire alcanza la temperatura adecuada para la autoinflamación del combustible suministrado por un inyector de combustible colocado en la culata sobre cada uno de los cilindros, el cual, en el momento adecuado, en la cantidad justa, necesaria para el funcionamiento del motor, lo introduce finamente pulverizado en forma de microgotas.

CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN

El circuito que se utiliza en los motores de ciclo Diesel para llevar el combustible desde el depósito hasta el interior de la bomba de inyección se denomina *circuito de baja presión*.

Su esquema y la denominación de sus elementos pueden verse en la siguiente figura:

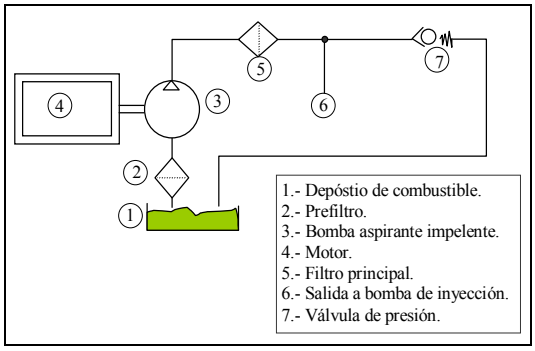

Figura 1.- Circuito de alimentación del combustible.

Su funcionamiento es semejante al que, de igual forma, lleva la gasolina en los motores de ciclo Otto desde el depósito hasta la cuba del carburador. Se compone de *depósito*, de características similares a los empleados para gasolina, de *filtro de malla*, que elimina las partículas gruesas, de *bomba*, que aspira el combustible del depósito y lo envía a cierta presión, de filtro exhaustivo, que realiza un prefiltrado del gasoil, de válvula reguladora de presión, tarada con un valor suficientemente alto como para mantener el flujo de combustible e impedir la entrada de aire, y de una salida que lleva el combustible hasta la *bomba de inyección*.

CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN

Este circuito, que recibe el combustible a la presión tarada en la válvula reguladora de presión del circuito de alimentación, está formado por una *bomba de inyección*, que comprime el combustible a presión que en algunos vehículos llega a superar 1250 atmósferas, lo que ha cambiado muchas de las antiguas ideas que había sobre los motores Diesel, de finas *tuberías de acero*, una por cilindro, que conducen el combustible que sale de la bomba de inyección, de *inyectores*, que situados en la culata pulverizan a alta presión, cada uno en su respectiva cámara de combustión, el combustible que reciben a través de las tuberías de presión desde la bomba de inyección.

Debido a la gran precisión de funcionamiento y a los ajustes entre los elementos constituyentes de la bomba de inyección y de los inyectores, para el correcto funcionamiento de los mismos es fundamental un filtrado exhaustivo del combustible para eliminar todas las partículas que pueda llevar en suspensión. Esto en los motores Diesel se realiza en tres fases, la primera mediante un filtrado grosero situado a la salida del de depósito

en la aspiración de la bomba de alimentación de combustible, la segunda mediante un segundo filtro más fino situado a la salida de ella, y la tercera, mucho más exigente, mediante un filtro denominado *filtro principal*, que elimina las partículas por minúsculas que sean.

El filtro principal, que se construye de diferentes modelos, aunque en esencia sólo se diferencian entre sí en el diseño y en la materia empleada como elemento filtrante, debe caracterizarse por tener, además de ofrecer una gran superficie de filtrado, para permitir el paso de gran cantidad de combustible sin apenas ofrecer pérdida de carga, un reducido volumen y por ser duradero y tener fácil limpieza.

Aunque hasta hace poco tiempo se utilizaba el fieltro como elemento filtrante, hoy se usa fundamentalmente el papel.

- Los antiguos filtros de fieltro estaban formados por un *recipiente*, con un *conducto de entrada* y otro de *salida del combustible*, en cuyo interior se situaba en cuyo orificio central se colocaba un formado por anillos de fieltro, rodeando un *tubo* perforado por cuyos orificios entraba el gasoil limpio y por uno de sus extremos salía hacia la bomba de inyección. En la tapa del recipiente se situaba un *tornillo de purga* para sacar el aire del circuito

En el conducto de salida del exceso de combustible, va montada una válvula antirretorno, tarada mediante un resorte para dar la suficiente presión al circuito como para que el gasoil llegue sin problemas a la bomba de inyección y para evitar que entre aire en el circuito que impediría el normal funcionamiento del motor.

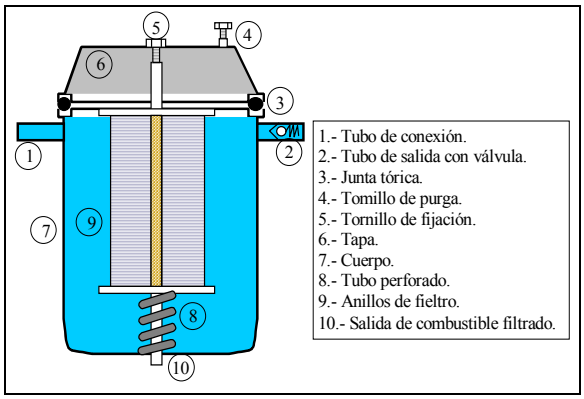

Figura 2.- Filtro de combustible con placas de fieltro.

- El filtro de papel, tiene una constitución semejante al anterior pero, como elemento filtrante, utiliza papel plegado como se muestra en la siguiente figura, gracias a lo que ofrece una gran superficie de filtrado y un reducido volumen.

A veces se encuentran tractores con doble filtro de papel.

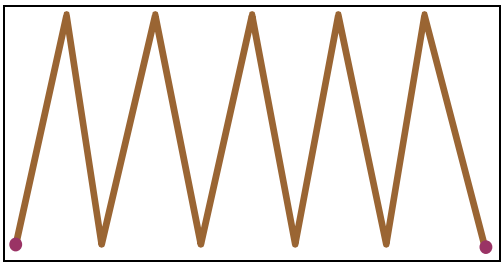

Figura 3.- Detalle de plegado del papel.

- La bomba de inyección transforma la energía mecánica del motor en presión del combustible y lo envía a los inyectores situados en la culata que a alta presión lo inyectan, en la cantidad justa y en el instante adecuado, en cada cilindro del motor.

Las bombas de inyección tienen que aportar la cantidad exacta de combustible según las necesidades de funcionamiento del motor, enviando la misma cantidad a cada cilindro, y además de hacer la inyección en el instante preciso, deben automáticamente que adaptar dicho momento al régimen de giro del motor, pues, como se expuso al hablar de las cotas de reglaje del motor, el comienzo de la inyección debe variar según la velocidad de giro del motor.

A todo ello hay que añadirle que debe ser apta para conseguir una alta presión de inyección, pues cuanto mayor es esta menor es el tamaño de las gotas que produce el inyector, más corto el tiempo de combustión, menor la relación de combustión a presión constante, más alto el rendimiento térmico y más suave y silencioso es el motor.

Todas estas condiciones de funcionamiento hacen que la bomba de inyección sea un elemento de elevada precisión, empleándose en su fabricación materiales de gran calidad, fabricados con extremado ajuste. Antiguamente las bombas de inyección eran de pistones en línea, hoy ,por sus mejores prestaciones, la mayoría de los motores diesel utilizan las denominadas bombas rotativas.

Mediante finas tuberías metálicas con diámetro interior de tan sólo dos milímetros con la que se eliminan acumulaciones de combustible por dilatación, y pared de espesor suficiente como para poder soportar la alta presión de trabajo, el combustible es enviado a los inyectores, cuya misión es introducirlo finamente pulverizado en el

cilindro, para que se mezcle uniformemente, al final de la compresión, con el aire caliente y se queme en su totalidad.

Cada inyector van montado sobre un soporte, denominado *portainyector*, el cual se fija a la culata mediante espárragos, y en su interior tienen una aguja sobre la que actúa un resorte, la cual cierra el orificio de salida del liquido al interior del cilindro. Dicho orificio se denomina *tobera*.

El combustible procedente de la bomba entra a alta presión en el interior del inyector y su presión desplaza la aguja venciendo la acción que sobre ella ejerce el resorte, por lo sale por la tobera al interior del cilindro.

El tamaño de la tobera, medido por su diámetro, y la presión del combustible enviado por la bomba, definen el tamaño de las gotas que entran en el cilindro, de forma que a mayor presión y a menor diámetro del orificio más pequeñas son las gotas pulverizadas y, cuanto menor sea el tamaño de la población de gotas menor es el tiempo necesario para la combustión, menor la relación de combustión a presión constante y más alto el rendimiento térmico del motor.

Se comprende así que el diámetro de la tobera sea muy pequeño, o que incluso el inyector lleve la tobera con varios microorificios de salida, lo cual además de reducir el tamaño de las gotas, ofrece mayor facilidad de combustión, pues hay un mejor contacto del combustible con el aire caliente.

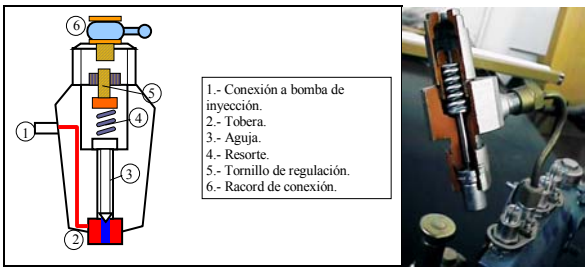

Figura 4.- Inyector.

El funcionamiento de los inyectores es como se presenta a continuación:

Cuando la bomba de inyección envía el combustible este pasa los conductos internos del portainyector y llega hasta una cavidad en la que está el extremo de la aguja, cuya punta tapona la tobera. La presión del combustible actúa sobre la aguja inyectora y, venciendo la fuerza del muelle que la obliga a cerrar la tobera, la levanta dejando abierto el orificio de salida, por él sale el combustible finamente pulverizado al interior del cilindro y se mezcla con el aire a alta temperatura contenido en la cámara de compresión y ardiendo a continuación.

Cuando la bomba de inyección deja de enviar combustible, deja de haber presión y el muelle empuja la aguja que cierra la tobera.

Como entre la aguja y el cuerpo del inyector hay inevitablemente una cierta holgura. Para dar salida al combustible que escapa entre ambos el inyector lleva un orificio roscado en el que se conecta un tubo de baja presión que lo lleva hasta el depósito.

Los fabricantes de motores Diesel, han venido adoptando diferentes sistemas para inyectar el gas-oil en el cilindro. De estos, hoy, el más usado es el de inyección directa, ya que la alta presión de inyección que se consigue permite evitar las complicaciones mecánicas y constructivas que ofrecía la inyección en antecámara.

La inyección en antecámara se hacía en una cavidad tallada en la culata, al lado de la cámara de combustión y conectada con ella. Durante la compresión el aire entraba tangencialmente en la referida cavidad por un conducto, lo que provocaba una gran turbulencia y favorecía el íntimo contacto de aire y combustible. Al quemarse la mezcla, los gases salían por el mismo conducto al interior del cilindro, presionando suavemente sobre la cabeza del pistón. De esta forma se evitaban, o al menos se reducían, las trepidaciones producidas al arder las relativamente gruesas gotas que se inyectaban.

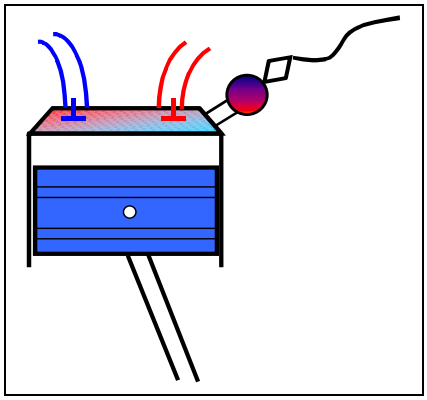

Figura 5.- Sistema de inyección en antecámara.

Con la inyección directa se introduce el gas-oil directamente sobre el pistón, el cual tiene en la cabeza tallados huecos que provocan turbulencias en el aire que se comprime, lo que asegura una rápida y eficaz mezcla con el combustible finamente pulverizado, lo que mejora la

combustión y reduce el tiempo necesario para la misma.

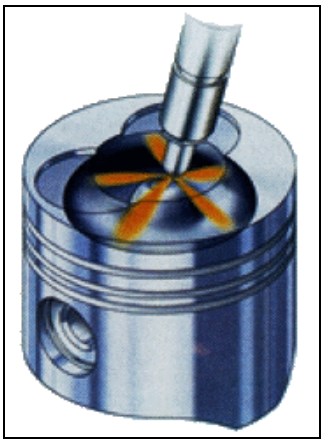

Figura 6.- Sistema de inyección directa multipunto.

En los motores Diesel, para facilitar el arranque en frío, se coloca un dispositivo de calentamiento a base de resistencias eléctricas el cual, antiguamente se manejaba por el conductor, y hoy su funcionamiento está automatizado mediante sensores de temperatura que indican al conductor el momento adecuado para poner en marcha el motor.

BOMBA DE INYECCIÓN DE PISTONES EN LINEA

La bomba de inyección de pistones en línea tiene una *carcasa* de fundición que aloja en su interior un *árbol de levas* que gira apoyado en *dos cojinetes*, el cual se mueve accionado por medio de engranajes desde el cigüeñal.

Cada leva, cuyo número es igual que el de cilindros, a través de un empujador, denominado botador, provisto en su parte inferior de un rodillo, empuja y desplaza el vástago de un pistón que se mueve con movimiento alternativo en el interior de un cilindro fijo en la carcasa. Dicho vástago lleva tallado un rebaje para sujetar una arandela en la que apoya un muelle que lo mantiene en continuo contacto con la leva y una cruz que se aloja en los rebajes de otro cilindro, gracias al cual, cuando este cilindro gira, el pistón también lo hace.

El giro se consigue mediante una cremallera dentada por una de sus caras, que se mueve accionada por el mando del acelerador, la cual conecta con un pequeño engranaje solidario con el cilindro de manera que, al desplazarse la cremallera movida desde el acelador, esta hace girar el engranaje solidario con el cilindro, girando este y con él el pistón.

El pistón que lleva una incisión vertical y una escotadura en forma de bisel, se desliza en el interior de un cilindro que rodeado del combustible que a cierta presión llega procedente del circuito de alimentación, en su parte superior, lleva dos orificios por los que se llena de combustible.

La salida del inyector lleva una *válvula antirretorno* que impide que el combustible, una vez que ha salido, pueda volver a él.

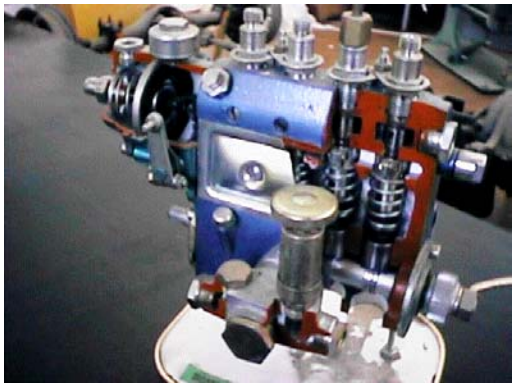

Figura 7.- Bomba de inyección de pistones en línea.

El funcionamiento de la bomba de inyección es como sigue:

Cuando el pistón está en la parte más baja de su recorrido, el combustible que llega microfiltrado y a cierta presión pasa por los orificios y llena el interior del cilindro. Cuando sube empujado a través de su vástago por la leva, una vez que cierra los orificios de entrada de combustible al cilindro, empuja al gasoil que sale hacia el inyector, para lo que abre la válvula antirretorno colocada a la salida, venciendo la fuerza del muelle que la empuja, hasta que la leva pasa por su cresta. A continuación el pistón baja empujado por el muelle, el pistón deja de enviar gasoil, la válvula antirretorno se cierra, la presión en la tubería que lleva el combustible al inyector cesa y la inyección se detiene súbitamente.

Como el pistón siempre recorre la misma carrera, es precisamente para adaptar el volumen de combustible inyectado a las necesidades de funcionamiento del motor, para lo que se le hace se hace pivotar en el interior de su correspondiente cilindro, lo que hace que su escotadura coincida antes o después con uno de los orificios de llenado del cilindro, con lo que el pistón deja de enviar combustible al inyector, y para ello se usa la cremallera, el engranaje del cilindro giratorio y la cruz del vástago.

Hay una posición del pistón en la que la ranura vertical coincide con uno de los orificios de llenado

del cilindro, por lo que al desplazarse no inyecta nada de combustible, y el motor se para, lo que se aprovecha para detener el motor.

Para inyectar más combustible se gira el pistón de manera que sea necesario un mayor desplazamiento para que su escotadura coincida con el correspondiente orificio de llenado del cilindro.

El pivotamiento del pistón lo hace la cremallera, la cual se mueve desde el acelerador, el cual la desplaza y hace girar al piñón de la carcasa que, como se dijo está conectada a la cruz del vástago.

En las bombas existen reguladores que efectúan el control de la velocidad del motor, los cuales actúan bien por fuerza centrífuga o bien mediante el vacío. Los primeros usan la acción de dos *masas centrífugas* que giran solidarias con el árbol de levas de la bomba de inyección, separándose mas o menos de él al comprimir sendos *muelles*. Estas masas al desplazarse accionan unas *palancas* que actúan sobre el sistema de mando de la cremallera, de forma que cuando la velocidad del motor tiende a aumentar, la cremallera se desplaza automáticamente reduciendo la cantidad de combustible inyectada, o bien si al motor se le ofrece más resistencia al giro, las masas centrífugas se acercan al árbol de levas y la cremallera se desplaza aumentando el volumen de combustible que se inyecta a los cilindros.

Basándose en que la depresión que aparece en los conductos de admisión aumenta a medida que lo hace el régimen de giro del motor, una *válvula de membrana* unida por un *vástago* a la varilla de mando de la *cremallera* permite modificar la cantidad de combustible inyectado en los cilindros, de forma análoga a la descrita.

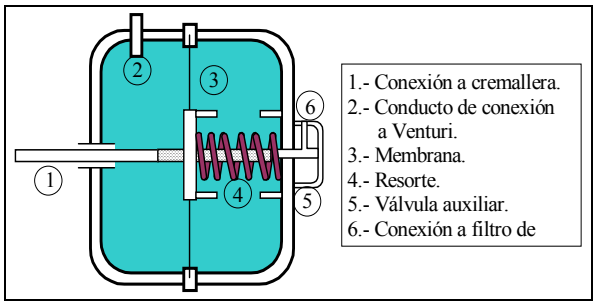

Figura 8.- Regulador neumático de vacío.

BOMBA DE INYECCIÓN ROTATIVA

Este tipo de bombas, que tienen un único elemento que da presión al combustible y mediante un distribuidor lo envía a todos los inyectores del motor, han sido, hasta la aparición de la última generación de motores diesel con sistema de alimentación "common rail", las más empleadas para alimentar motores de ciclo Diesel.

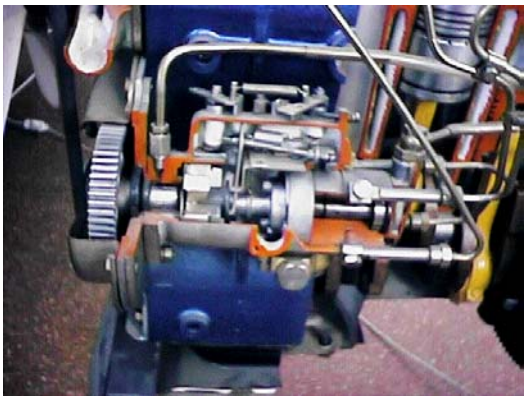

Figura 9.- Bomba de inyección rotativa.

La esencia del funcionamiento de las bombas rotativas puede comprenderse mediante la utilización del esquema I.S.O. que se presenta a continuación:

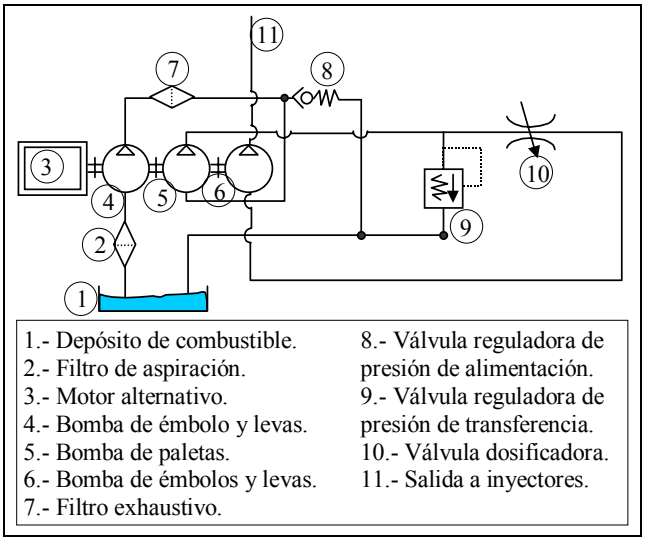

Figura 10.- Esquema I.S.O. de inyección con bomba rotativa.

El gas-oil llega a la bomba de transferencia impulsado por la bomba de alimentación, y después de pasar por el filtro. Esta bomba se encarga de aumentar la presión mandando el gas-oil a la válvula dosificadora. Dado que el caudal que manda es mayor que lo que puede pasar por la válvula dosificadora, el gas-oil irá por otro conducto hacia la válvula reguladora de presión, la cual es la que se encarga de mantener una presión en el circuito.

La válvula dosificadora, que se acciona mediante el mando del acelerador y el regulador, abre más o menos el orifico de paso del gas-oil hacia el cabezal hidráulico con lo que pasará hacia los pistones, presionando sobre ellos separándolos más o menos, según la cantidad de gas-oil que deje pasar la válvula dosificadora, mayor o menor cantidad de combustible.

En las bombas rotativas, la impulsión se consigue mediante un sistema como el que se presenta en la figura siguiente.

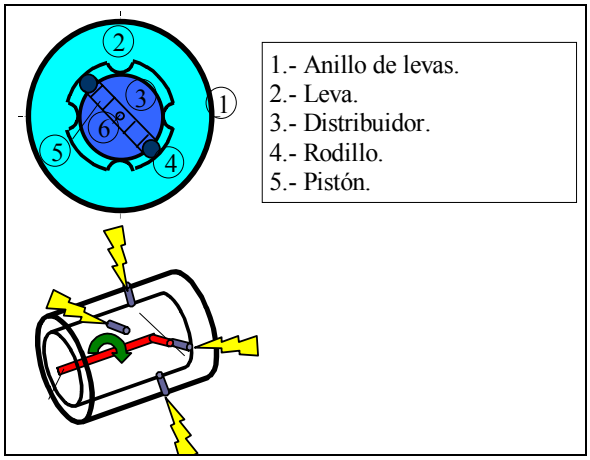

Figura 11.- Bomba rotativa y distribuidor.

El funcionamiento es como se presenta a continuación:

Al girar el rotor dentro del anillo de levas, los rodillos son empujados por estas y desplazan los pistones que comprimen el combustible que hay entre ellos, lo hacen salir por la perforación longitudinal del rotor justo en el momento que coincide con una de las salidas a los inyectores.

La válvula dosificadora, cuyo esquema es el que se presenta en la siguiente figura, se puede mover hacia arriba o hacia abajo por el interior del conducto donde va alojada. Si el movimiento es hacia arriba, cerrará el conducto de salida de gas-oil al cabezal hidráulico disminuyendo, por lo tanto, la cantidad inyectada, reduciendo la energía disponible por el motor, por lo que bajara su régimen de giro. Si el movimiento es hacia abajo, abrirá el conducto de salida aumentando la cantidad inyectada, aumentando la energía disponible, por lo que el motor aumentará su régimen de giro.

Para acelerar o desacelerar el motor, se actuará sobre el mando del acelerador, el cual, a través de un pequeño engranaje mueve la cremallera en sentido descendente o ascendente.

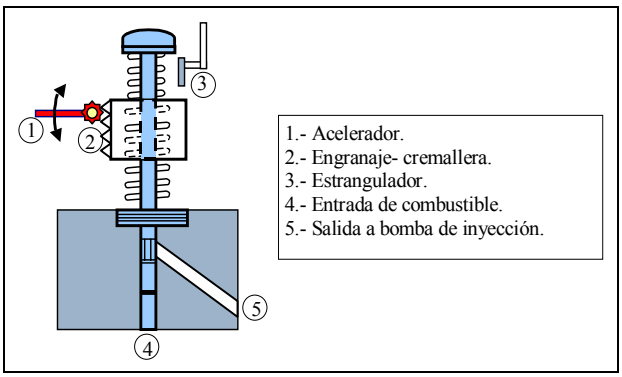

Figura 12.- Regulador hidráulico.

ALIMENTACIÓN COMMON RAIL

Desde un punto de vista tecnológico, lo último en alimentación de los motores de ciclo Diesel es la inyección directa con sistema "*common rail*", también conocido como sistema a base de electroinyectores.

El "*common rail*", que traducido significa conducto común, consiste en un tubo de distribución en el que a alta muy alta presión, que hoy supera incluso 1250 atmósferas, está contenido el carburante enviado por una bomba de paletas.

De igual forma que en los sistemas descritos el gasoil es aspirado desde el depósito mediante una bomba cuya misión es la de proporcionar el combustible microfiltrado con el caudal necesario para garantizar la lubricación y la refrigeración de la bomba de paletas.

Desde el colector común se hacen conexiones mediante tubos de acero con diámetro interior de 2 mm y diámetro exterior de 6 mm, capaces de soportar la alta presión de trabajo, hasta el elemento que introduce el combustible en la cámara de combustión, que por ser accionado eléctricamente se le denomina electroinyector. Este está constituido por una bobina que actúa sobre una aguja cuyo extremo, de forma semejante a la expuesta al describir los inyectores, abre y cierra una tobera con salida multipunto.

La duración de la corriente de excitación enviada al electroinyector, la presión de trabajo y la sección de salida del combustible por la tobera son los parámetros que permiten controlar el volumen de combustible inyectado, y por tanto la energía puesta en juego.

Dicho control de la cantidad a inyectar, así como el instante de inicio de la pulverización de combustible en cada cilindro, está regulado por un microordenador que recibe continuamente

información de todos los sensores colocados en el motor, los cuales hacen que, en función de la velocidad de giro, de la posición del acelerador, de la temperatura ambiente, de la temperatura del motor, etc.; el microprocesador las procese todas y consiga un funcionamiento óptimo.

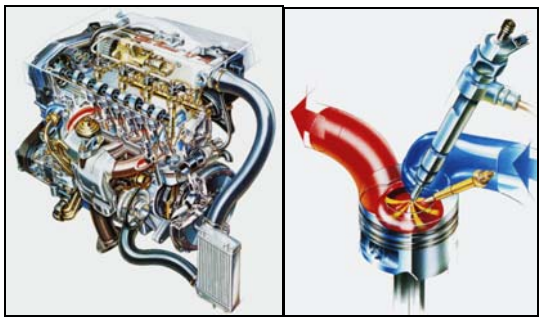

Figura 13.- Motor con "*common rail*" y electroinyector.