BIBLIOTECA

EL MOTOR DIESEL EN EL AUTOMOVIL

R.- 2973

C.P. DEP. P. MARQUES DE SUANZES EL FERROL BIBLIOTECA

ENCICLOPEDIA DEL AUTOMOVIL

EL MOTOR DIESEL EN EL AUTOMOVIL

Miguel de Castro Vicente

ediciones ceac

Perú, 164 - 08020 Barcelona - España

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni el registro en un sistema informático, ni la transmisión bajo cualquier forma o a través de cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación o por otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

© EDICIONES CEAC, S.A. - 1987
Perú, 164 - 08020 Barcelona (España)

Primera edición: Noviembre 1987

IBN 84-329-1026-0

Depósito Legal: B-41765 - 1987

Impreso por
GERSA, Industria Gráfica
Tambor del Bruc, 6
08970 Sant Joan Despí (Barcelona)

Printed in Spain
Impreso en España

CONTENIDO

Prólogo 7

Introducción técnica al motor Diesel 11

El motor Diesel y el automóvil 53

Estructura del motor Diesel 83

La combustión 147

La inyección (I) Las bombas en línea 191

La inyección (II) Las bombas rotativas 245

Inyectores y circuito de alimentación 287

Puesta a punto de motores Diesel 325

La sobrealimentación 357

Parte eléctrica 389

Localización de averías 403

La conducción de un automóvil con motor Diesel 427

PRÓLOGO

El alza progresiva en el precio de la gasolina ha conseguido que los automóviles dotados de motor de explosión sean cada vez más caros de mantenimiento y su utilización para el transporte, tanto por ciudad como por carretera, sea cada vez más cuestionable desde el punto de vista económico. Para poner un ejemplo de corta duración en la historia, existe la realidad de que en España, la evolución de los precios de las gasolinas ha sufrido en los años que van desde 1973 hasta 1983 —cifra escogida al azar y con el objetivo de llenar una década— un aumento de casi un 700 %, es decir, la gasolina se ha ido subiendo de precio a un promedio de cerca de un 70% cada año. No es nuestro propósito, en este momento y en este prólogo de introducción al tema, entrar en detalles de las más o menos justificadas causas que se han producido para llegar a alcanzar esta desproporcionada situación. Cierto que el aumento del precio del petróleo, la sobrevaloración del dólar americano, la fuerte presión fiscal, la inflación que se ha producido en todos los países occidentales, y otras causas, son parámetros fundamentales de cuyo estudio saldría la clara justificación de estos precios en insaciable alza, pero es evidente que tal justificación no consuela al usuario del automóvil que, en 1973, con un precio de la gasolina a 13,50 pts. el litro, con una relación salario/litro de gasolina que le permitía, con una hora de trabajo comprar casi 11 litros de carburante super, se encuentra, diez años más tarde, que con su salario equivalente solamente puede comprar 6,72 litros. Ello forzozamente ha de plantear en la mente del usuario una recomposición del tema pues, en igualdad de circunstancias, ahora solamente puede realizar un 60 % de los kilómetros mensuales que realizaba en 1973. Pero la realidad cruda es todavía más grave si se tiene en cuenta que en aquellas fechas un automóvil equipado con motor

de 1.200 cm^3 era ya considerado un automóvil de tipo medio que rozaba las fronteras del automóvil de representación. El abaratamiento de los coches y la creación de las rápidas autopistas llevaron insensiblemente a nuestro usuario de tipo medio a la compra de automóviles dotados con motores de 1.600 a 2.000 cm^3, que si bien tienen unas condiciones de comodidad, seguridad y potencia muy por encima de los productos de 1973, también tienen, a la contra, un consumo entre un 25 y un 30 % superior. De lo dicho se deduce que en estos momentos, no solamente el usuario de nuestro ejemplo ha de reducir su kilometraje mensual en un 60 % sino que a ello ha de considerar también los 8 litros a los cien kms que gastaba en 1973 con los 11 litros que por igual recorrido está gastando en este momento. Total: se acabaron las excursiones de fin de semana y los largos viajes aprovechando los «puentes» del calendario; el automóvil, con un combustible de un precio superior al de un litro de leche o de vino, ha de permanecer en funcionamiento el tiempo indispensable porque otra solución resulta demasiado cara.

Parece que ante esta evidencia el mercado debería dirigirse —supuesto que los gobiernos no están en absoluto dispuestos a bajar el precio del combustible— hacia la compra de vehículos de pequeña cilindrada, tal como ocurría, por ejemplo, en los años cuarenta y cincuenta. Sin embargo, la realidad es muy otra: el usuario no sabe renunciar a la comodidad de sus grandes coches, de sus amplios maleteros, de sus buenos y amplios asientos, de las cuatro puertas bien accesibles, etc. y, en todo caso, a lo único que está dispuesto a renunciar es a las brillantes prestaciones del motor. En estas condiciones, los fabricantes han encontrado la solución perfecta: El motor Diesel.

Como nos explicará el autor de este libro a lo largo de las páginas que nos esperan, el motor Diesel ha sido trabajado y elaborado en los diseños con el criterio de acercarlo lo más posible a las condiciones que son características del motor de explosión. Al hablar pues, de un motor Diesel para automóvil estamos hablando de un motor que presenta ciertas particularidades con respecto a los motores de su misma especie. Signos distintivos los encontramos en sus elevadas relaciones de compresión, en su acelerado régimen de giro con respecto a todos sus congéneres fabricados para otros usos, y en la gran proliferación de ejemplares turboalimentados. El éxito de estos modelos es evidente dada su aceptación en el mercado y los magníficos resultados que están proporcionando. Con esta solución, el automóvil actual rebaja su consumo a los 100 kms, rebaja el precio de su combustible y sigue manteniendo sus condiciones de automóvil seguro, fuerte y cómodo.

La oferta de automóviles equipados con motores Diesel ligeros es, en estos momentos, muy considerable. Todas las grandes fábricas productoras de automóviles se han afanado por realizar su *versión Diesel* de los automóviles de gasolina más populares, de modo que el comprador tiene muchas y diferentes opciones para elegir la versión que considere más adecuada a sus apetencias y necesidades. A la vista de sus ventajas, en pocos años el parque de automóviles con planta motriz Diesel ha aumentado considerablemente y cada día son más los adeptos a este tipo de motor que si bien no alcanza las aceleraciones de los motores de explosión tiene la gran ventaja de su alto valor en

la curva de par motor lo que lo hace de una conducción más reposada al no tener que hacerse uso del cambio de velocidades con tanta insistencia como se hace en los motores de gasolina.

Pues bien: este incremento de unidades en el mercado hace que los mecánicos de automóviles que conocen a fondo el tradicional motor de explosión se vean visitados cada vez más por vehículos turismos equipados con motores Diesel. Estos motores —no hace falta decirlo— no son iguales que los motores de explosión, pero tampoco son iguales que los motores de los autocamiones, de modo que no basta con el conocimiento de unos y de otros para hacer un trabajo de reparación perfecto. Hay singularidades que es preciso conocer.

A ello va encaminado el plan y desarrollo de este libro. Su objetivo mantiene el criterio prioritario de ofrecer al mecánico de automóviles un libro de motores Diesel aplicado a los motores que en su taller de reparación de automóviles de gasolina va a recibir cada vez con mayor insistencia. Pretende, por consiguiente, dejar bien claro en qué se parecen ambos motores y en qué se diferencian, haciendo hincapié en aquellas operaciones de reparación o de mantenimiento que son propias del motor Diesel y no lo son del motor de explosión (o lo son de otra manera). En este sentido el libro es único hasta este momento en la bibliografía, bastante extensa por otra parte, que existe en castellano sobre el tema general del motor Diesel. De hecho son numerosos los tratados, manuales y diversos tipos de obras que tratan con mayor o menor extensión el tema, pero en todos ellos se tiene siempre en cuenta o bien el gran motor Diesel marino, o el usado en las locomotoras de ferrocarril, o en los grandes camiones, o, si se quiere, en pequeños grupos estacionarios, motores todos estos que, como se ha dicho, presentan particularidades de cierta importancia a la hora de trabajar en ellos con respecto a la estructura de los motores que se dedican modernamente al automóvil, fruto de un diseño que tiene como finalidad conseguir mejorar en mucho las aceleraciones.

Por último nos queda hacer algunas puntualizaciones con respecto a la presencia de este tomo en la colección que compone la *Enciclopedia del Motor y el Automóvil* que edita nuestra Editorial. Por lo pronto resulta necesario establecer la diferencia que el lector puede encontrar entre este volumen y el titulado «El motor Diesel», del que es autor D. Juan Villalta Esquius. Allí encontramos un trabajo dedicado al motor Diesel del modo más amplio y especialmente dedicado a los motores grandes y medianos. Un ejemplo puede ilustrarnos al respecto. Un motor que gira a un número de rev/min. máximas de 2.200 ya se le considera un «motor veloz» porque son muchos los motores descritos en el libro que no sobrepasan en mucho las 1.000 r/min, motores, por supuesto, de grandes dimensiones. Teniendo en cuenta que los motores de automóviles están girando a regímenes que oscilan entre 4.000 a 4.600 rev/min ya encontramos aquí motivos para sospechar ciertas diferencias. En efecto: el presente libro se distingue en su contenido por la descripción exclusivamente de motores ligeros, de poco peso en relación a la potencia obtenida, tal como el automóvil requiere como condición fundamental.

Por otra parte, y dado que en tomos como «Transmisión y bastidor» ya se habla de las partes estructurales del automóvil no se tratará en este libro

de repetir estos conceptos, sino que el autor se centra en la exposición del motor Diesel presuponiendo incluso en el lector el conocimiento del motor de explosión al que se hace con mucha frecuencia referencias comparativas. De todos modos hay que dejar bien sentado que no se requiere la lectura atenta de «El motor Diesel» de esta misma colección para la comprensión del presente tomo ya que, en lo fundamental, guarda su autonomía en la exposición de los temas básicos, sin perder de vista en ningún momento sus dos objetivos fundamentales que, resumiendo, son: Hacer la exposición lo más claramente posible de las realizaciones llevadas a cabo en los motores Diesel proyectados para su utilización en el automóvil, y, por otra parte, contar con un lector provisto de los conocimientos generales que se presuponen en un aficionado o en un profesional, no estrictamente especializados, en el tema de los automóviles de motor de gasolina.

Esperamos que se pueda decir de este texto que se aviene totalmente a los deseos de sus lectores, de modo que sea un libro que les resulte convincente y que responda a las necesidades que les llevaron a adquirirlo.

1

INTRODUCCION TECNICA AL MOTOR DIESEL

Introducción

En el ya muy lejano año de 1892 la Oficina de Patentes de Berlín estampaba el número 67.207 sobre una memoria para patente que había presentado el ingeniero alemán Rodolfo Diesel en donde, a lo largo del escrito, se decía textualmente después de su debida traducción: «*...el émbolo comprime aire puro en un cilindro, de modo que la temperatura resultante de la compresión es mucho mayor que la temperatura de inflamación del combustible que se ha de emplear. Después de la compresión y a partir del punto muerto, se efectúa la introducción gradual del combustible...*» etc. Teniendo en cuenta que Diesel estaba trabajando con un motor del tipo Otto, es decir, del clásico cuatro tiempos, con el funcionamiento de las cuatro carreras que son también típicas en los motores de cuatro tiempos de explosión, tenemos en esta breve descripción la base de la gran diferencia que existe entre el motor de gasolina y el motor Diesel. En efecto: Tal como decía el texto de la patente, mientras en el motor de explosión, en el tiempo de admisión y al abrirse la válvula del mismo nombre, penetra en el interior del cilindro una mezcla de aire y gasolina debidamente mezclados, formando una niebla, en el motor Diesel, y en las mismas circunstancias el cilindro se llena exclusivamente de aire aspirado directamente de la atmósfera a través de un filtro. Posteriormente, en el tiempo de combustión que sigue según el ciclo, en el motor de gasolina se precisa de una chispa eléctrica que inicie la combustión de la mezcla comprimida y en virtud de esta chispa la mezcla se quema a buena velocidad transformando su energía en calor de modo que se dilata con tal fuerza que obliga al émbolo o pistón a desplazarse violentamente a lo largo del cilindro hasta llegar al punto muerto inferior (P.M.I.) del mismo

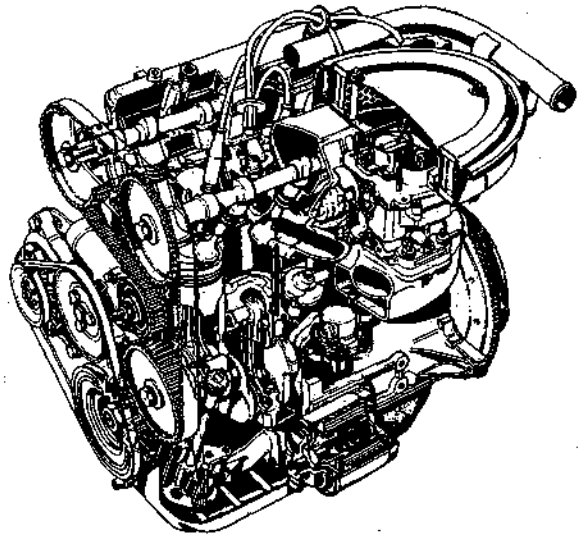


Figura 1. Vista seccionada del famoso motor FIAT biélbero. Se trata de un motor de explosión de 1.592 cm³ que proporciona 95 CV a las 6.000 r/min.

produciéndose de este modo el tiempo de trabajo. En el motor Diesel, del que habíamos dicho que solamente estaba lleno de aire comprimido, el combustible es escupido en el interior de esta densa atmósfera por medio de un aparato de alta presión llamado inyector. Cuando este combustible inyectado se pone en contacto con el aire altamente comprimido, y por lo tanto a una temperatura muy elevada, inmediatamente inicia su combustión con gran desarrollo de calor y aumento de su volumen, al igual que en el caso de la gasolina. Este es el momento en que el émbolo resulta impelido con fuerza hacia su P.M.I. de modo que se crea así el tiempo de trabajo.

Esta es, básicamente, la gran diferencia entre el motor de explosión y el motor Diesel. Pero de esta diferencia que podría parecer a primera vista insignificante, o por lo menos poco significativa, se va a derivar sin embargo una serie de características que acaban haciendo ambos motores tan dispares en sus prestaciones y en su comportamiento que parezcan motores de una técnica mucho más desigual de lo que resulta de lo que acabamos de ver. Pronto entraremos en detalles del porqué de estas diferencias y se aclararán las dudas

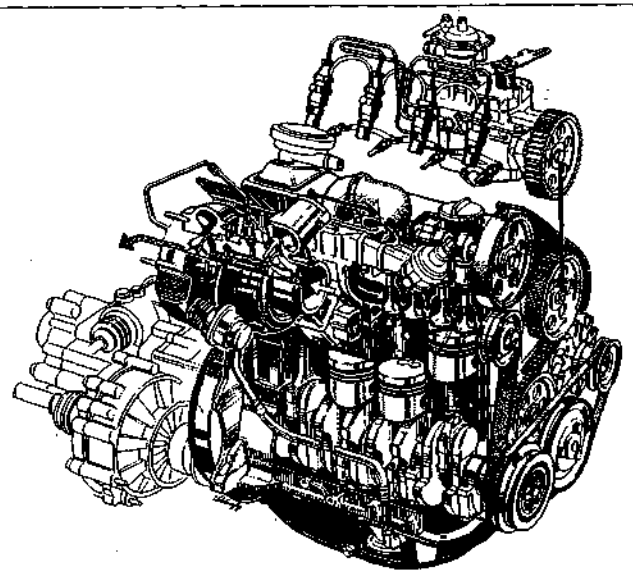


Figura 2. Vista seccionada de un motor VOLKSWAGEN. Se trata de un motor Diesel, de 1.588 cm³ sobrealimentado, que alcanza una potencia máxima de 68 CV a las 4.500 r/min.

que a este respecto podamos tener. Y estudiando las características técnicas que son peculiares de cada motor podremos ver también el porqué durante muchos años el motor Diesel no ha sido aceptado en el mundo del automóvil, por lo menos de la manera masiva en que se está aceptando durante toda la década de los años ochenta, debido a su dificultad en poder competir con la relación *peso/potencia* que proporciona el motor de gasolina pese a tener otras envidiables condiciones para la tracción de autovehículos que los camiones y las locomotoras sí pudieron apreciar y utilizar desde el principio.

A este respecto podemos ver en la figura 1 el dibujo de un motor seccionado, de 1.592 cm³ y de explosión o de encendido por chispa. Este motor con una compresión de 9:1 consigue los 95 CV a 6.000 r/min y es un diseño originario de FIAT que ha sido montado en muchos tipos diferentes de carrocerías a conveniencia de la marca. Por otro lado, y en las mismas condiciones tenemos, en la figura 2, el dibujo de un motor Diesel de 1.588 cm³ utilizado por la fábrica alemana VOLKSWAGEN para sus berlinas del modelo *Golf* y también para algunos modelos de AUDI *80*. Este motor se halla sobrealimentado

por medio de un turbocompresor que se aprecia en la figura, y consigue una potencia de 68 CV a 4.500 r/min. A pesar de la diferencia en la potencia obtenida puede decirse que este motor Diesel representa uno de los máximos hitos a los que puede llegar un motor de este tipo. La versión de este mismo motor sin sobrealimentar alcanza los 54 CV a 4.000 r/min.

La simple comparación de estas características técnicas ya nos proporciona una serie de pistas que forzozamente nos han de hacer meditar. Con respecto al motor Diesel de VOLKSWAGEN es fácil que salten a la vista de inmediato una serie de preguntas como las siguientes: ¿Por qué el motor Diesel no puede superar las 4.500 r/min que es, por otra parte, una velocidad de giro muy tranquila para el motor FIAT de gasolina que puede llegar hasta las 6.000?

Otra observación podría ser: ¿Es posible que el motor Diesel tenga una relación de compresión de 23:1 mientras el motor de explosión del ejemplo solamente alcanza 9:1?

Otra pregunta: ¿Qué ocurriría si, en igualdad de circunstancias, el motor FIAT fuera también sobrealimentado por medio de un turbocompresor?

A todas estas preguntas y a muchas más que pudieran formularse vamos a tratar de dar respuesta en este capítulo. Para ello resulta forzoso recurrir a una exposición atractiva de la teoría para lo cual tendremos que valernos de los principios básicos de la misma. Para comprender las diferencias de carácter de ambos motores es de todo punto necesario profundizar un poco en las leyes físicas a las que, en su funcionamiento, ellos no pueden sustraerse. Ocurre aquí lo mismo que con la Música (y dispénsenos el lector por esta comparación aparentemente tan dispar). Sin conocimientos de su estructura y de su lenguaje, la Música podremos siempre sentirla, pero nunca comprenderla. Algo semejante puede ocurrirle a un mecánico que desprecie el conocimiento de las leyes físicas que posibilitan el funcionamiento de los diversos tipos de motores: sin el estudio de estas leyes podrá hacer reparaciones perfectas, pero estará lejos de comprender el porqué. Y no hay que olvidar que saber el porqué de las cosas viene a ser la base para poder determinar con acierto el diagnóstico de sus averías.

De acuerdo con lo dicho resulta conveniente que pasemos, lo más rápidamente posible, a hacer una comparación previa entre el motor de gasolina y el Diesel partiendo desde el mismo comportamiento en la forma de desarrollar el ciclo de cuatro tiempos. De este estudio ya se verá cómo se advierten las diferencias que determinan el carácter de uno y otro tipo de motor y que hemos esbozado con brevedad en estas primeras páginas.

Comportamiento durante el ciclo

El motor Diesel puede construirse de modo que funcione por el ciclo de cuatro tiempos o por el de dos tiempos, al igual que ocurre con el motor de

explosión. Lo que sucede es que los motores Diesel que funcionan bajo el ciclo de dos tiempos son motores extraordinariamente grandes, propios para la propulsión de grandes motonaves, mediante los cuales se obtienen unas elevadas potencias que han llegado hasta los 50.000 CV (poco más de 37.000 kW), pero con unas velocidades de giro que oscilan entre las 100 a las 150 r/min. Por el contrario, y como ya es conocido, resulta curioso consignar como en los motores de explosión el ciclo de dos tiempos se reserva para motores de pequeñas cilindradas en la gran mayoría de los casos, tales como para ser planta motriz de velomotores y motocicletas pequeñas de hasta 250 cm^3. Así pues, el ciclo de dos tiempos parece designado a utilizarse para los más grandes y los más pequeños motores, pero no para los de la zona intermedia.

En la práctica pues, se utiliza exclusivamente el ciclo de cuatro tiempos para los motores Diesel que son diseñados y fabricados con el objetivo de propulsar automóviles, del mismo modo que ocurre con los motores de explosión. Por ello vamos a ver solamente la comparación del comportamiento de estos dos motores durante cada uno de los tiempos de que consta su ciclo.

En la figura 3 presentamos el estado del motor de gasolina en cada una de las carreras de que consta el ciclo (admisión-compresión-explosión y escape) y que ya, sin duda, deben serle familiares al lector.

Por otro lado, en la figura 4 presentamos también la disposición de un motor Diesel frente a cada uno de los momentos típicos de su situación en cada una de las carreras que componen el ciclo de cuatro tiempos. Al tercer tiempo, el de trabajo, se le llama aquí combustión porque la forma en que se produce el quemado del combustible tiene unas características diferenciales que estudiaremos en su momento.

Acto seguido pasemos a comentar las características que presentan cada una de las carreras del ciclo en ambos tipos de motores.

ADMISION

En el motor de gasolina se inicia este tiempo cuando la válvula de admisión se abre al mismo tiempo que se inicia la carrera descendente del émbolo, es decir, el émbolo se dirige desde el PMS hacia el PMI, permaneciendo la válvula de escape totalmente cerrada. Al descender el émbolo se crea el vacío en el interior del cilindro por el que se desplaza. Debido a la presión atmosférica y a que, al abrirse la válvula de admisión, se pone el cilindro en comunicación con la atmósfera, se crea una fuerte corriente de aire que atraviesa por el centro del conducto del carburador (C) desde donde recoge pulverizada la gasolina, de modo que el producto resultante que entra en el cilindro es aire mezclado con gasolina pulverizada.

En el motor Diesel, y tal como puede verse en este tiempo de la figura 4, la entrada de aire se produce directamente de la atmósfera sin intermedio de carburador alguno por lo que el cilindro se llena exclusivamente de aire.

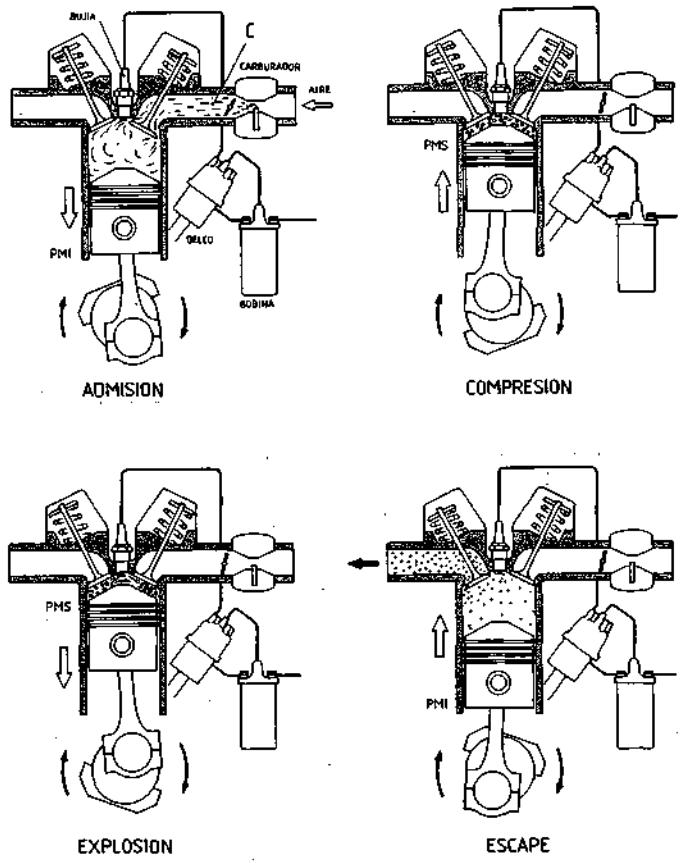


Figura 3. Desarrollo del ciclo de cuatro tiempos en un motor de gasolina.

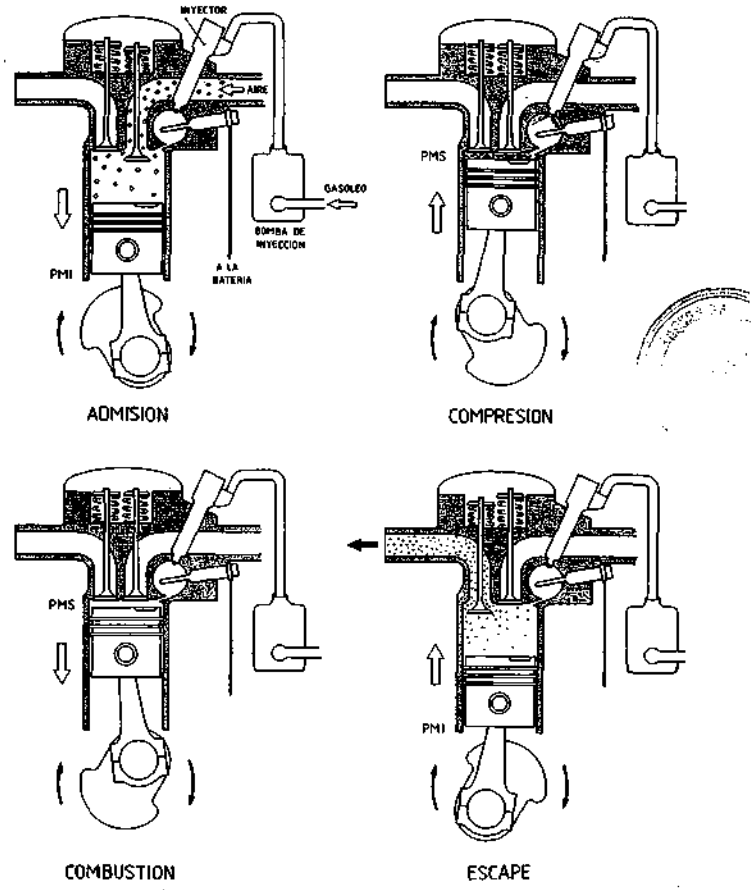


Figura 4. Desarrollo del ciclo de cuatro tiempos en un motor Diesel.

COMPRESION

Cuando al final del tiempo de admisión el émbolo llega hasta su PMI se cierra la válvula de admisión, la válvula de escape continúa cerrada y el conjunto del cilindro queda totalmente estanco de modo que ni gas ni aire puedan salir al exterior. El émbolo comienza a ascender hacia su PMS con lo que el gas encerrado en su recinto se ve en la absoluta necesidad de comprimirse, o lo que es igual, de reducir su tamaño.

En el motor de gasolina hemos dicho que lo que había entrado era una mezcla de aire/gasolina. Esta mezcla va reduciendo su tamaño con una relación volumétrica que puede ser de 7,50 a 10, es decir, se hace de 7,50 a 10 veces más pequeña que el volumen inicial. Esta mezcla, al comprimirse, va aumentando su temperatura y su presión. Con respecto a la primera, si entró a una temperatura ambiente de 18 °C, puede aumentar hasta alrededor de los 300 °C cuando el émbolo llega a su PMS. En cuanto a la presión, que inicialmente fue de 1 atmósfera (o un bar) puede terminar con presiones del orden de los 10 a 15 bar al final de la compresión.

Este mismo tiempo de compresión en el motor Diesel recordemos que se efectúa con aire solamente. Por lo tanto, al no contener el aire ninguna mezcla de combustible podemos comprimirlo a mucha mayor relación volumétrica. De hecho, en los motores Diesel utilizados en el automóvil, las relaciones de compresión se establecen entre 18 y 23, de modo que la compresión resulta extraordinariamente más elevada. Al igual que en el caso del motor de gasolina, el aire, al verse comprimido, aumenta su temperatura hasta alrededor de unos 600 °C y las presiones alcanzadas al final del tiempo de compresión se encuentran entre los 30 a los 50 bar.

Al hacer una comparación de este tiempo entre el motor de gasolina y el Diesel ya vemos que este último tiene que ser forzosamente mucho más robusto para alcanzar con facilidad estas presiones que son tres veces más elevadas. De ahí que el Diesel se vea obligado a reforzar sus piezas móviles y sea por lo tanto menos ágil que el motor de gasolina, y tenga dificultades para obtener los regímenes de giro que éste alcanza, además de los problemas de combustión de los que nos vamos a ocupar seguidamente.

EXPLOSION–COMBUSTION

En el momento de la llegada del émbolo al PMS, en el motor de gasolina salta una chispa eléctrica entre los electrodos de una bujía que se encuentran en contacto con las paredes internas de la cámara de combustión. Esta chispa dentro de la misma densa atmósfera de la mezcla aire/gasolina comprimida ocasiona la combustión rápida de esta mezcla de una manera semejante a una explosión. En este instante aumenta considerablemente la presión dentro de la cámara y alcanza valores que, según el diseño del motor, pueden ser de los 40 a los 60 bar. También la temperatura se acrecienta considerablemente. La fuerza de estas presiones desplaza al émbolo hacia el PMI y éste constituye el tiempo de trabajo de la máquina.

En el motor Diesel el proceso es diferente. Cerca del final del tiempo de compresión que vimos antes, se inyecta en la cámara de combustión una cantidad muy determinada y precisa de combustible pulverizado. Esta inyección dura, a plena carga, de 20 a 35° grados del giro del cigüeñal. Casi inmediatamente después de empezar la inyección se produce el encendido espontáneo del combustible dada la circunstancia de que el aire comprimido está a alrededor de los 600 °C que hemos visto antes y el punto de encendido del combustible es mucho más bajo (280 °C), de modo que van aumentando las presiones en el interior de la cámara con valores que ahora pueden llegar de 60 a 90 bar y un aumento también considerable de la temperatura.

La característica fundamental de este tiempo es la enorme presión a que se ha de conseguir introducir el combustible en el interior de la cámara dado el caso de que ésta ya se encuentra con valores de 30 a 40 bar, tal como dijimos. En efecto, la presión de inyección se estipula entre los 100 a 175 bar según el diseño del motor Diesel en cuestión.

Con esta combustión y el aumento de presiones indicadas el émbolo es empujado hacia el PMI constituyendo este tiempo el de trabajo.

ESCAPE

En las figuras 3 y 4 vemos el último tiempo del ciclo que es semejante para los motores de gasolina y los Diesel. Al iniciar el ascenso del émbolo, la válvula de escape se abre y deja el interior del cilindro en comunicación con la atmósfera para permitir la evacuación de los gases quemados y por lo tanto inservibles. Al mismo tiempo que el émbolo asciende hace las veces de bomba que impele a los gases a salir a través de la válvula. Teóricamente, cuando el émbolo ha llegado a su PMS, los gases quemados han salido del recinto y se abre la válvula de admisión de nuevo mientras se cierra la de escape, para proceder a formalizarse de nuevo el tiempo de admisión, con lo que el ciclo recomienza.

Aquí acabamos de ver cómo se produce el funcionamiento de un cilindro de acuerdo con el ciclo de cuatro tiempos, tanto para un motor de explosión como para un Diesel. Por supuesto que en la práctica los motores de automóvil disponen casi siempre de cuatro cilindros y en algunos casos, hasta cierto punto excepcionales, de seis, o de ocho cilindros en V. (Se fabrican todavía automóviles deportivos de gran clase con motores de 12 cilindros en V, pero son casos nada corrientes, desde luego.) En lo que respecta al motor Diesel fabricado para equipar automóviles, el tipo de motor más corriente es el de cuatro cilindros, aunque también los americanos fabrican motores de 6 y 8 cilindros en V, de grandes cilindradas, para algunos de sus modelos que tienen más venta. Pero como que el motor de cuatro cilindros resulta ser el más popular vamos a referirnos a él. En este caso, el ciclo que acabamos de describir se produce del mismo modo en todos los cilindros del motor pero con la particularidad de que los tiempos se han desfasado, unos con respecto a los otros, de modo que cuando un cilindro está, por ejemplo, en el tiempo de admisión otro cilindro se halla en tiempo de *expansión*, otro en *compresión* y

otro en *escape*, todo lo cual depende del orden de combustión que le haya asignado el ingeniero que lo proyectó. Por ejemplo, si se trata de un motor que tiene un orden de combustión de 1-3-4-2, quiere decir que mientras el cilindro 1 está en tiempo de admisión, el cilindro 3 estará en tiempo de escape de su ciclo correspondiente; el 4 estará en su tiempo de expansión o combustión, y el 2 en el de compresión. Cuando, a continuación, el giro del cigüeñal desplace los émbolos hacia otra carrera, en el cilindro número 1 se estará produciendo el tiempo de compresión mientras en el cilindro número 3 se pasará al tiempo de admisión; en el 4 se pasará al escape, y en el 2 se estará en el tiempo de combustión, etcétera.

El comportamiento de cada uno de los cilindros con respecto a los demás queda representado a continuación en el cuadro que sigue, teniendo en cuenta el orden de combustión de 1-3-4-2 que hemos dicho. Cuando el cilindro número 1 se halla en cualquiera de sus tiempos se ve la situación en que están todos los demás cilindros de este motor.

Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4
Admisión	Compresión	Escape	Combustión
Compresión	Combustión	Admisión	Escape
Combustión	Escape	Compresión	Admisión
Escape	Admisión	Combustión	Escape

El motor de cuatro cilindros resulta pues, bien equilibrado, porque, como puede observarse, a cada media vuelta del cigüeñal siempre hay un cilindro que se encuentra en el tiempo de combustión, lo que quiere decir que siempre se dispone de una carrera motriz o tiempo de trabajo mientras los otros cilindros van preparándose para la llegada de este tiempo primordial en virtud de la inercia que el motor ha adquirido por medio del cigüeñal y el volante de inercia que lleva a su extremo.

A lo largo de nuestra exposición muchas veces vamos a hablar del motor considerando un solo cilindro, pero, aunque no se indique expresamente, se deberá tener en cuenta que nos referimos a la forma de actuar un solo cilindro como representativo de todos los demás en los cuales el proceso de funcionamiento descrito se efectúa de la misma forma.

Algunos principios elementales

Hace poco decíamos que la Música puede ser sentida por cualquiera, pero sólo comprendida por aquellos que han llegado a penetrar en la estructura de la composición, es decir, en la armonía, el ritmo, las formas musicales, etcétera. Del mismo modo, también se puede ser un excelente mecánico si solamente se sabe de los motores las piezas de que están compuestos y las conexiones de estas piezas entre sí; su función en el conjunto, la manera como están sujetas unas a otras y las medidas y sus tolerancias que deben ser respetadas en ellas. Sin embargo, un buen mecánico que solamente sepa esto estará lejos de comprender al motor, porque para comprenderlo tendrá que tener claras ciertas ideas sobre la estructura y los condicionantes que le imponen el mundo físico que lo rodean, es decir, de los combustibles, la forma de poder sacar energía de donde la haya, los problemas que presenta esta liberación de energía de un combustible, las leyes físicas a que están sometidos todos los cuerpos y que condicionan el aprovechamiento de la energía liberada, etcétera.

Previamente a ninguna otra cosa consideramos necesario hacer un estudio, lo más sencillo posible, de ciertos aspectos de la Termodinámica que es la parte de la Física que estudia las relaciones que existen entre el calor y el movimiento, es decir, entre la energía calorífica y la energía cinética, condiciones fundamentales dentro de las que se mueven nuestros motores de explosión y también los Diesel. Si alguien se cree tan preparado que estos conceptos no van a decirle nada nuevo puede pasar directamente al capítulo que sigue, en el que ya entramos de una manera práctica en el estudio de los motores Diesel que nos interesan; pero si alguien tiene alguna duda o, por lo menos, alguna curiosidad, le aconsejamos que lea lo que sigue, pues es muy probable que después no se arrepienta y le sirva para hacerse cargo, con mayor seguridad, de lo que es un motor de combustión interna.

Vayamos pues, a ello y comencemos primero por ver a qué se designa con el nombre de energía.

La energía

Por supuesto que antes de inventarse cualquier tipo de motor el hombre tuvo que observar primero que dentro de algún elemento había una fuerza capaz de producir unos efectos. Así, cuando el hombre observó los efectos del viento se le ocurrió ponerle un trapo a una embarcación o unas aspas a un molino de viento, pero no fue al revés, desde luego. Del mismo modo, cuando el hombre observó que el carbón podía encenderse y que mientras quemaba estaba produciendo una energía capaz de elevar la temperatura del agua se las ingenió para crear la máquina de vapor. Más tarde creó los motores de combustión interna, al darse cuenta de las condiciones que reunía el gas producido por el carbón u otros combustibles.

Pero, ¿qué es la energía, y cómo pudo darse cuenta el hombre de la presencia de la energía en los cuerpos?

La Física define la energía como *la habilidad latente o aparente para producir un cambio en las condiciones existentes*. La energía implica, pues, una capacidad para la acción.

Hay elementos que poseen una energía potencial provocada por fuerzas de origen mucho mayor, por ejemplo, un cuerpo colocado en una determinada altura por la acción de la fuerza de la gravedad puede ser una fuente de energía cuando se le obliga a caer. Cuando se ponga en acción poseerá energía

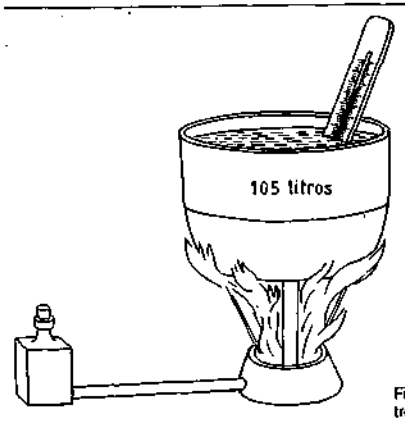


Figura 5. La energía que contiene un litro de gasolina permite calentar 105 litros de agua desde 0 °C hasta 100 °C.

cinética dado el hecho de que modificará su velocidad; pero esta energía acabará cuando esta masa haya llegado al fondo o final del desnivel.

También hay otro tipo de energía, llamada energía interna, de la que se ven provistos ciertos cuerpos de una manera muy abundante (aunque, en realidad todos los cuerpos disponen de energía interna en sus formas química y molecular y atómica; pero a los cuerpos especiales, a los que nosotros nos referimos en este momento con principal atención, es a los combustibles y en particular a las gasolinas y los gasóleos). Estos cuerpos pueden liberar su energía interna por medio de calor. Veamos, por ejemplo, el caso de la gasolina. Por medio de ella podemos hacer el siguiente experimento que, por otra parte, ha de ser de muchos conocido y que podemos llevar a cabo utilizando un infiernillo (un hornillo casero). Colocando en su depósito gasolina podremos prender fuego a una mecha, con todo lo cual se ocasionará un desprendimiento de calor. Si encima colocamos un recipiente con agua, ésta se irá calentando. Con esta sencilla prueba ya tenemos la evidencia de que la gasolina contiene en su interior una importante energía interna que se demuestra en forma de energía calorífica.

Para medir hasta qué punto es importante el valor de esta energía podemos acudir al montaje que muestra la figura 5. Suponiendo que no fuera posible que existieran pérdidas de calor en este montaje (cosa que aquí es evidente que sí ocurre) podríamos comprobar que con un kilogramo de gasolina podríamos conseguir elevar un volumen de 105 litros de agua desde la temperatura de 0 grados centígrados hasta 100 °C; es decir, hacer pasar este volumen de agua desde un punto rayano a la congelación hasta el estado de ebullición.

Por lo tanto, este producto tiene una importante energía interna ya que es capaz de inflamarse y de conseguir grandes cantidades de calor.

De hecho, el hombre se dio cuenta muy temprano, en los días oscuros de su prehistoria, de que la gran mayoría de los cuerpos que habían tenido una vida previa (árboles, plantas, etc.) estaban dotados de una energía calorífica más o menos importante de modo que desde tiempos muy remotos encontró el sistema de poder aprovechar estas características. Su primer gran descubrimiento fue, por supuesto, el fuego, mediante el cual conseguía convertir la energía interna de la madera en energía calorífica que además le proporcionaba luz. Así era como calentaba lo que se comía, se calentaba en el invierno y se iluminaba pálidamente durante la noche, pero sobre todo, calentaba el estaño y el cobre, luego el hierro, etc. que fueron las bases del progreso de todos aquellos antiguos pueblos.

Cuando el hombre empezó a pensar científicamente, a preguntarse y tratar de explicarse sobre el principio de las cosas y de los fenómenos, y más tarde, cuando empezó a experimentar midiendo resultados con el mayor rigor posible, se dio cuenta de la relación que existía entre el calor y la energía, y vio la posibilidad de utilizar el calor para producir fuerza por medio de máquinas muy elementales; pero el problema estaba en dar el siguiente paso, es decir, lograr convertir la energía calorífica de los combustibles en energía mecánica. Este fue el gran reto que solamente tuvo su principio de solución práctica en el siglo XVIII cuando se consiguió hacer funcionar, con cierto rendimiento, la primera máquina de vapor. Se trataba de un motor de combustión externa en el que el combustible actuaba aumentando la temperatura del agua, no solamente hasta evaporarla, sino hasta ir aumentando la presión del vapor dentro de una caldera hasta conseguir elevados valores. Por medio de válvulas se dirigía la presión de este vapor hasta la máquina en donde un elemento distribuidor del vapor lo dirigía sobre un émbolo móvil que recibía la presión ya por una cara, ya por otra, originándose así el movimiento mecánico. El posterior aprovechamiento de éste ya no era gran problema en su tiempo ya. que tanto los engranajes como las bielas las utilizaba el hombre desde antiguo en máquinas movidas por tracción animal.

Pero la máquina de vapor, que fue la inicial herramienta que dio lugar a la revolución industrial del siglo siguiente, tenía grandes inconvenientes de cara a un transporte ligero que pudiera llegar a sustituir a las mulas y los caballos para el arrastre de vehículos. En primer lugar necesitaba largo tiempo para calentar y evaporar el agua; luego necesitaba también ir acompañado de importantes provisiones de carbón que resultaban voluminosas y sucias, y, además, resultaba todo un conjunto muy pesado. Con todo, y dejando aparte las primeras locomotoras de ferrocarril, se construyeron muchos vehículos de vapor en los primeros tiempos del automóvil, los llamados *locomóviles*, que dieron un pobre resultado, como era de esperar.

El gran adelanto dentro del transporte terrestre, sin vías, tendría que venir de un invento que fuera capaz de sacarle a un líquido, fácilmente transportable y de poco peso, toda o buena parte de la energía que ya se conocía existía en él, y este líquido era el petróleo y sus derivados.

Antes de llegar aquí el hombre había experimentado con otro tipo de combustible que era mucho más limpio y ventajoso que el carbón. Este combustible era el gas. Este producto se conseguía de la combustión incompleta de muchos productos poseedores de energía calórica, entre ellos, el mismo carbón, y se podía utilizar para el alumbrado cuando aún no se utilizaba la electricidad para este fin, y también para otras muchas aplicaciones. Estudiando cómo se podría utilizar el gas aplicado a otro tipo de máquinas nacieron los motores entre los cuales destacó los que utilizaban el principio o sistema de Otto, así llamados por haber sido el alemán Nicolás Augusto Otto quien hizo construir por primera vez un motor de combustión interna dotado de compresión, utilizando el gas como combustible, y cuya concepción técnica se apartaba considerablemente de los procedimientos utilizados en la máquina de vapor. Los motores que fabricó Otto hacia 1870 eran motores que funcionaban por el ciclo de cuatro tiempos, es decir, tal como se ha descrito al principio de este capítulo.

Como que los primeros motores Otto eran estacionarios, es decir, fijos y por lo tanto no autotransportables, su tamaño y peso no constituían para los ingenieros que los proyectaban un objetivo primordial. Sin embargo, sí era cierto que los motores de gas tenían grandes ventajas sobre las máquinas de vapor pues eran más limpios y más potentes a igualdad de tamaño. Por ello cuando se trataba de proyectar un motor para un vehículo automóvil, es decir, autopropulsado, los ingenieros vieron en el motor de tipo Otto mucho más porvenir que en la máquina de vapor si se podía solucionar el problema del combustible. Un verdadero avance se consiguió cuando los ingenieros empezaron a poner su atención en los combustibles líquidos de alto índice de volatilidad, y entre ellos en el alcohol y el petróleo. El invento y aplicación del primer rudimentario carburador fue la solución a este problema ya que por medio de él se conseguía, de alguna manera, convertir el combustible líquido en gas. Ello se conseguía por un sencillo procedimiento: Una corriente de aire pasaba por la parte superior de un recipiente desde donde recogía los vapores de gasolina que se producían por el sistema siguiente: en el fondo del recipiente había un cepillo de crin sobre el que iba cayendo, gota a gota y regulada por medio de una llave, la gasolina. Al mismo tiempo también tenía entrada en el recipiente el agua caliente de la refrigeración. La elevada temperatura del agua provocaba la evaporación de la gasolina que, además, por ser de diferente densidad, la gasolina sobrenadaba por encima del agua y dejaba sus impurezas más pesadas en el fondo del recipiente. Los vapores ascendían hacia la parte alta que era donde pasaba la corriente de aire que atendía al tiempo de admisión del motor. Así pues, por este o por procedimientos más o menos semejantes, se conseguía gasificar el combustible y poder aplicar los motores de gas a las necesidades que un motor autotransportable podía requerir.

Pero estos procedimientos no solamente podían llevarse a cabo con combustibles tan elaborados como la gasolina. También los aceites pesados del petróleo, entre los que podemos encontrar el antecesor de nuestro gasóleo, podían aplicarse a los motores de este tipo por medio de ingeniosos carburadores. En la figura 6 tenemos, como curiosidad, un motor de este tipo, fabricado por la marca francesa RAGOT hacia 1880, el cual funcionaba por el ciclo Otto (cuatro tiempos y uno de ellos de compresión) y cuyo carburador gasificaba el aceite pesado del modo que brevemente vamos a explicar. Este carburador (Fig. 7) se compone de un tubo vertical de fundición, liso interiormente, y provisto exteriormente de aletas helicoidales. Se halla calentado por una fuerte lámpara de petróleo en la parte baja del tubo vertical, tal como puede apreciarse en la figura 6, parte de la izquierda en la zona superior. El aceite pesado penetra por un embudo desde la parte alta cuando se abre la llave de combustible. A continuación baja siguiendo la dirección de las espiras, cuyo desarrollo es bastante considerable, y que están cada vez más calientes a medida que se acercan a la lámpara. Las partes ligeras del combustible son vaporizadas en primer lugar y solamente las partes pesadas llegan hasta el fondo del tubo en donde la temperatura es suficientemente elevada como para gasificar también los residuos. El aire que se trata de mezclar con los vapores corre en sentido inverso del aceite; se calienta primero en un manguito exterior al tubo, el cual envuelve la hélice de hierro fundido, y encuentra después el vapor el aceite a lo largo de ésta. De este modo arrastra los vapores hacia el interior de la cámara de combustión y allí se produce el tiempo motriz.

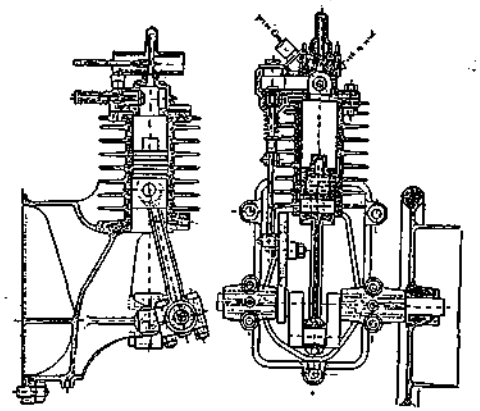


Figura 6. Motor RAGOT que funcionaba con aceites pesados del petróleo, fabricado hacia 1880.

Después de todo lo dicho queda bastante claro que el motor es una máquina que tiene por objetivo poder acceder a sacarle al combustible la mayor

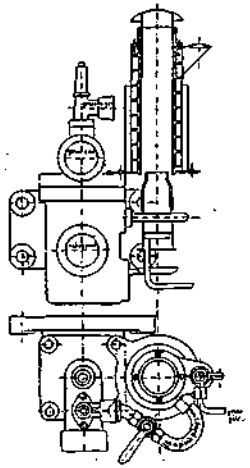


Figura 7. Esquema del carburador del motor RAGOT de la figura anterior.

cantidad de energía posible y, para hacerla aprovechable, convierte esta energía calorífica del combustible en energía cinética, o lo que es igual, en movimiento. Se trata pues, de conseguir algo tan asombroso como hacer que un tranquilo líquido, que podemos guardar y transportar en poco sitio y en un sencillo recipiente, pueda, sometido a los procesos que esta máquina va a proporcionarle, liberar toda la energía que contiene. Desde este punto hemos de considerar al motor de combustión interna.

La energía y el calor

El calor es una de las formas de la energía; pero como que es precisamente a través del calor como se consigue, en nuestros modernos motores de gasolina y Diesel, sacarle la energía interna al combustible, es evidente que vamos a tener que ocuparnos con todo cuidado de la relación que existe entre el calor y la energía mecánica y es por ello que tendremos que acudir a revisar los postulados de la Termodinámica. En efecto: La primera Ley de la Termodinámica es aquella que relaciona el calor en este sentido. La primera observación que se llevó a cabo por los científicos del siglo XVIII es el hecho curioso de que cuando se efectúa algún trabajo mecánico aparece calor; por ejemplo, y entre otros muchísimos que se podrían poner, cuando se procede a taladrar se observa claramente que la broca se calienta. Pero de lo que se trataba era

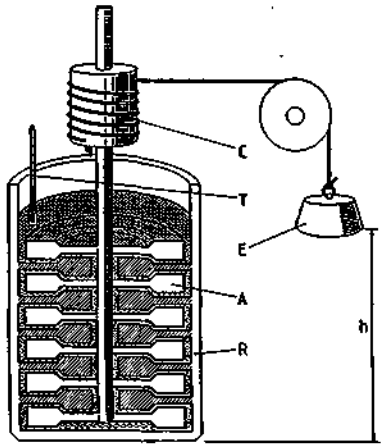


Figura 8. Aparato ideado por el científico inglés Joule para comprobar el equivalente mecánico del calor. A, rotor de paletas. C, carrete de accionamiento del rotor. E, masa de un peso determinado. h, altura a que puede descender el peso. R, recipiente. T, termómetro de precisión.

de ver hasta qué punto el calor que aparecía en estos procesos guardaba relación con las condiciones en que se administraba la energía mecánica que se le proporcionaba. Estudiando este fenómeno se llegó a la conclusión de que siempre que se convierte trabajo mecánico en calor, o se obtiene trabajo mecánico a expensas del calor, existe una relación constante entre el trabajo dado y el calor producido. A la cantidad de trabajo que al convertirse en calor proporciona una unidad de cantidad de calor, es a lo que se llama *equivalente mecánico del calor*.

La primera Ley de la Termodinámica a la que hacíamos mención se la enuncia de la siguiente manera:

> *Siempre que se convierte energía mecánica en calor (o calor en energía mecánica) es constante la razón de la energía mecánica al calor.*

A la formulación de esta Ley se pudo llegar gracias a los trabajos del científico inglés Jacobo Joule quien, entre los años 1843 y 1878 trabajó para encontrar el equivalente mecánico del calor por medio de una serie de experimentos por medio de los cuales llegó a demostrar que este equivalente mecánico del calor era siempre el mismo aunque fueran diferentes los sistemas utilizados para convertir la energía mecánica en calor. Estos experimentos los realizó con una máquina de su invención, cuyo esquema simplificado se puede ver en la figura 8, y por medio de la cual se puede medir el calor desarrollado

cuando se emplea trabajo para agitar agua. Como puede deducirse por la figura, esta máquina consta de un recipiente (R), originariamente lleno de agua, en el hay dispuesto un rotor (A) provisto de paletas y sumergido en el líquido. Por otra parte, por medio de un carrete (C) sujeto al eje y atado a una cuerda, se encuentra un cuerpo de una masa determinada que podrá deslizarse, al soltarlo, en una carrera desde una altura (h), haciendo con ello girar el carrete y con él las paletas de agitador.

El trabajo proporcionado será el producto del peso (E) por la altura (h) y el calor provocado se verá por el aumento de temperatura del agua, medido por medio de un termómetro de precisión (T).

Por supuesto, para que este aparato funcionara bien, Joule realizó una serie de correcciones para evitar la inercia de las paletas al cesar la caída de la masa, así como también que la caída de la masa no estuviera frenada de golpe por el choque. También hizo la prueba con diferentes tipos de masa y diferentes tipos de líquido, sustituyendo el agua por el mercurio, etcétera. Pero en todos los casos pudo demostrar que la cantidad de calor era proporcional al trabajo realizado. Con ello pudo calcular el equivalente mecánico del calor que dejó establecido en 1 Kcal = 426,40 kilográmetros.

Pongamos un ejemplo que a los mecánicos podrá sernos muy aleccionador de cara al rendimiento de nuestros motores. Se sabe que la gasolina contiene una energía calorífica que tiene un valor de 10.500 a 11.000 Kilocalorías por cada kg. de peso. Pues bien: si pudiéramos transformar toda esta energía calorífica en energía mecánica (cosa que, sin embargo, es imposible en la práctica) podríamos obtener una potencia en nuestros motores igual a lo que los siguientes cálculos muestran.

Si un kg de gasolina dispone de 11.000 Kcal. quiere decir que dispone de:

$$11.000 \times 426,40 = 4.690.400 \text{ kgm.}$$

Ahora bien: la unidad con la que se mide la potencia de un motor es el CV que equivale a 75 kgm/seg. Por lo que, en una hora, cada CV equivaldrá a

$$75 \times 60 \times 60 = 270.000 \text{ kgm.}$$

(Multiplicamos 60 × 60 para hacer la conversión a horas de los sesenta segundos que tiene el minuto y los 60 minutos que tiene la hora).

En su consecuencia, un kg. de gasolina podría dar una potencia de

$$\frac{4.690.400}{270.000} = 17,37 \text{ CV/h}$$

Para darnos una idea de lo que significa este valor podríamos decir que un motor perfecto, que aprovechara toda la energía de la gasolina, podría con 3,50 kg. de este combustible (lo que traducido a litros podría ser del orden de los 5 litros, ya que la densidad de la gasolina viene a ser de unos 700 gramos por litro) obtener durante una hora una potencia continuada de 17,37 × 3,50 = 60,79 CV, valor quizá suficiente para arrastrar una tonelada de peso

de un automóvil a velocidades muy parecidas a los 150 kms/h, con un consumo deducido de ello de 3,33 litros a los cien kilómetros. Como veremos más adelante, la diferencia entre esto y la realidad es el mal rendimiento de nuestros motores.

Volvamos de nuevo al tema del calor y la energía que cada vez se pone más interesante. La experiencia nos demuestra que resulta mucho más fácil obtener calor a partir de una energía que no hacerlo al revés, es decir, obtener energía mecánica a partir de la energía calorífica, tal como consiguen, sin embargo, nuestros motores. De hecho, con el solo acto de frotarnos las manos ya estamos obteniendo esta energía calorífica a partir de la mecánica; pero al revés, como decimos, ya estamos en un problema mucho más difícil de resolver. Los físicos que en el siglo pasado estudiaron este problema llegaron a sacar conclusiones si bien muy acertadas también hasta cierto punto descorazonadoras. Entre estas conclusiones cabe destacar las que formuló el físico francés N.L.S. Carnot quien estableció una de las leyes fundamentales de la Termodinámica cuando dijo:

> *Es imposible obtener trabajo mecánico con un solo manantial de calor, siendo necesarios dos por lo menos y a temperaturas diferentes.*

Es decir, para sacarle trabajo a un manantial de calor es necesario que exista un *desnivel térmico*, o dicho de otra manera, que al foco caliente se le oponga un foco frío. Y esto se está cumpliendo, por supuesto, en nuestros motores, en donde el tiempo de combustión, de alta temperatura, se opone al tiempo de escape que es el foco frío.

Del desarrollo de este postulado de Carnot por medio de estudios llevados a cabo más tarde se vio que precisamente el rendimiento de las máquinas estudiadas para extraer energía mecánica de la calorífica dependía de la diferencia entre el calor suministrado y el cedido a su parte de manantial bajo, o foco frío, ya que resultaba indispensable durante el ciclo de funcionamiento que existiera una cesión perdida de calor entre el foco caliente y el foco frío. Esta es una importante razón por la que el tipo de máquina que conocemos con el nombre de motor de combustión interna, ya sea en su versión de explosión o en la versión Diesel, nunca podrá disponer de los 17,37 CV/h por cada kg de combustible, tal como hace poco vimos que teóricamente podría obtener. Siempre deberá ceder calor que no se traducirá en trabajo lo que será objeto, junto con otras causas, del bajo rendimiento de estos motores modernos que nos parecen a primera vista tan perfectos.

Todo esto nos conduce a la segunda Ley de la Termodinámica, la cual fue enunciada por el físico Max Plank y que dice textualmente:

> *Es imposible construir una máquina que trabaje en un ciclo completo y no produzca otro efecto excepto el de elevar un peso y enfriar un depósito de calor.*

Dicho en otras palabras: Cualquier sistema que opere en un ciclo que reciba calor mientras realiza trabajo se verá obligado a tener un proceso de

rechazo de calor como parte del ciclo. Por lo tanto resulta un sueño inalcanzable pensar en la posibilidad de que algún día se logre una máquina o motor tan perfectos que puedan aprovechar completamente toda la energía calorífica que pueda contener un combustible.

De hecho, al profundizar en las páginas siguientes sobre el tema, ya veremos hasta qué punto, con una perfección ideal de los motores que ahora tenemos, se podrá conseguir un rendimiento máximo, es decir, un aprovechamiento, lo más completo posible, de la energía calorífica que contienen los combustibles. Pero ahora, vayamos primero por otro camino.

La termodinámica y sus ciclos

Por lo que hemos visto hasta ahora nuestros motores son, en el fondo, motores que se alimentan de gas. El combustible líquido que llevamos en los depósitos de los vehículos resulta finamente pulverizado por el inyector (nos referimos ahora al caso del motor Diesel) de forma que entra en la cámara de combustión a una muy alta presión, pero muy fraccionado, de modo que se conduce como si fuera un gas. También en el motor de explosión la gasolina se pulveriza en el carburador y entra mezclada con el aire, formando una niebla que puede perfectamente interpretarse como un gas. Estos motores son, pues, en lo fundamental, como los motores de gas a que hemos hecho referencia y que se inventaron y utilizaron en la segunda mitad del pasado siglo.

Cuando, al principio de este capítulo, describimos el ciclo de cuatro tiempos, ya tuvimos ocasión de darnos cuenta cómo son tratados los gases en el interior de la cámara de combustión. El aire, en el caso Diesel, es admitido a temperatura ambiente y presión atmosférica; luego es comprimido (reducción de volumen) y con ello aumenta su presión y su temperatura. Por otra parte, en el momento de la inyección del gasóleo aumentan las presiones y la temperatura hasta alcanzar elevados valores que luego se rebajan extraordinariamente en el momento del escape, al ponerse la cámara de combustión en contacto con el exterior. A poco que meditemos nos daremos cuenta de que hay un foco altamente caliente cuando se produce la combustión que contrasta con el foco frío del escape, tal como requieren las leyes de la Termodinámica y el principio enunciado por Carnot. Y también vemos que para ello el gas está permanentemente sometido a constantes variaciones de presiones y de volúmenes de los que se deducen variaciones en las temperaturas.

Para estudiar más cómodamente estas variaciones y la forma cómo se producen se acude a representarlas en un plano semejante al que vemos dibujado en la figura 9. Aquí, cualquier tipo de variación en el volumen del gas la podemos representar por la línea horizontal en el sentido de que el volumen es tanto más grande cuanto más a la derecha se encuentre el punto que lo representa. En iguales condiciones también podremos representar las presiones a que el gas se encuentra sometido, pero esta vez por medio de la línea vertical, tal como se indica en el dibujo. Por supuesto, aquí la presión es tanto

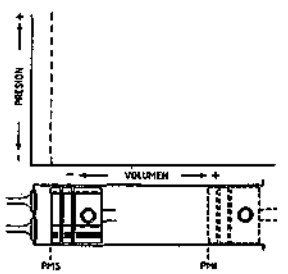


Figura 9. Forma de representar el volumen y la presión que se producen en el interior de un cilindro por medio de un diagrama de Clapeyron.

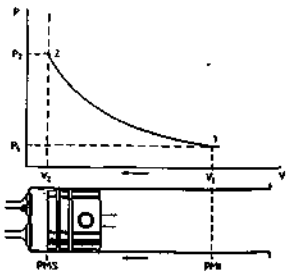


Figura 10. Representación de una transformación isoterma sobre un diagrama de Clapeyron.

más elevada cuanto más hacia arriba se encuentre el punto que tratemos de representar.

Este tipo de representación se llama *diagrama* y se suele llamar de Clapeyron por ser este ingeniero francés quien lo llegó a crear. Pero pueden existir también otros tipos de representaciones en los que se tengan en cuenta las temperaturas en la línea vertical y la cantidad de energía calorífica dividida por la temperatura absoluta en la parte de la línea horizontal. Nosotros vamos a referirnos al *diagrama de Clapeyron* para ver qué es lo que ocurre en el interior de un motor con la corriente de gases que atraviesan sus cámaras de combustión.

Diferentes transformaciones termodinámicas

Antes de pasar adelante es preciso hacer algunas definiciones para poder entendernos en lo sucesivo. En realidad, vamos a ponerle nombre a cada uno de los estados que determinan una transformación en los gases. Estas transformaciones pueden ser:

1. Transformación isoterma o a temperatura constante

La palabra *isoterma* está formada por unas raíces griegas en donde la partícula *isos* significa igual, y *termo* o *terma*, caliente. Así todas las palabras que comienzan con la partícula inseparable *iso* dan a entender igualdad. Esto es importante para que recordemos lo que quiere decirse al emplear la palabra isotermo, y otras que veremos más adelante.

En la figura 10 tenemos representado sobre un diagrama de Clapeyron una transformación isoterma en la que el gas conserva una temperatura constante. Como puede verse, disminuye su volumen y aumenta su presión. El primero pasa de V_1 hasta V_2 y la segunda de P_1 a P_2. La temperatura se supone aquí la misma en el estado 1 que en el 2.

Esta transformación responde a la llamada *ley de Mariotte* en la que se establece:

$$\text{Presión} \times \text{Volumen} = \text{Constante}$$

2. Transformación isocora o a volumen constante

Durante este proceso la transformación de gases se produce sin que haya una variación en el volumen, tal como se indica sobre el diagrama de la figura 11. De forma práctica esta situación se produce si la transformación del gas se efectúa estando el émbolo inmóvil como podría ocurrir si la combustión se efectuara instantáneamente cuando el émbolo permanece parado en el PMS en la fracción de segundo en que invierte el giro de su carrera. El hecho de que su volumen permanezca constante no quiere decir que no puedan haber importantes variaciones de presión debidas a los efectos que pueden derivarse de un aumento de la temperatura. En efecto: la transformación isocora viene determinada por la relación proporcional que existe entre la presión y la temperatura, del modo siguiente:

$$\frac{\text{Presión 1}}{\text{Presión 2}} = \frac{\text{Temperatura 1}}{\text{Temperatura 2}}$$

El valor de la temperatura se refiere siempre a la escala de Kelvin que es la que corresponde a la llamada «temperatura absoluta». Como es sabido el cero absoluto, aquel por debajo del cual ya no puede existir una temperatura más fría, se encuentra a 273 grados bajo cero de nuestra escala centígrada, de modo que una temperatura de 20 °C de esta escala corresponderán, en grados Kelvin, a la suma de 273 más 20, es decir a 293° Kelvin ya que lo que varía en esta escala es el punto de partida con respecto a la centígrada que habitualmente utilizamos.

3. Transformación isobara o a presión constante

Este es el caso contrario al anterior, en el que vemos (figura 12) que el valor de la presión permanece estable, pero no así el volumen, que sufre desde el punto V_1 al punto V_2 una reducción.

En el caso de la transformación isobara, cuando el volumen aumenta se necesitará un aporte de calor para mantener el valor de la presión sin variaciones, es decir, constante. Este es el caso de la combustión a presión constante dentro de un motor. Por el contrario, si el volumen disminuye y se precisa mantener la presión con un valor constante se necesitará una refrigeración del gas.

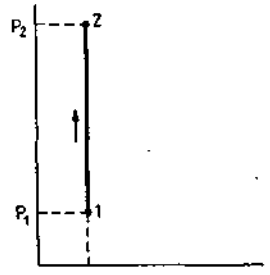


Figura 11. Representación de una transformación isocora sobre un diagrama de Clapeyron. El volumen V es constante, pero la presión pasa de P_1 a P_2.

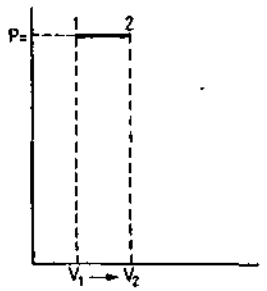


Figura 12. Representación de una transformación isobara sobre un diagrama de Clapeyron.

La temperatura absoluta de un gas sometido a transformación isobárica varía según la siguiente ley:

$$\text{Temperatura final} = \text{Temperatura inicial} \times \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}}$$

4. Transformación adiabática o sin cambio de calor al exterior

En las transformaciones que hemos visto hasta ahora los gases han sufrido variaciones que determinaban pérdidas o ganancias de calor. En el caso de las transformaciones adiabáticas esto no ocurre así, de modo que no existe cambio de calor con el exterior. En la figura 13 tenemos este caso representado en un diagrama de Clapeyron. Teóricamente son adiabáticos los tiempos de compresión y expansión durante el funcionamiento de uno de nuestros motores, pero en la práctica, tal como veremos, debido a la presencia de la refrigeración, estos tiempos no cumplen con el cometido técnico estricto que corresponde a una transformación adiabática.

En esta transformación la relación entre presión y volumen está regida por una ley que establece:

$$P \times V^{\gamma} = \text{Constante}$$

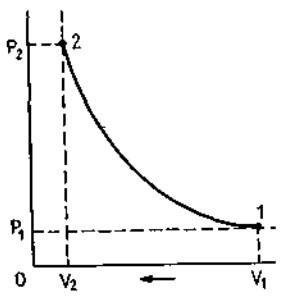


Figura 13. Representación de una transformación adiabática.

En esta fórmula P es, por supuesto, la presión; V, el volumen, en este caso con el exponente γ que en el caso del aire adquiere un valor de 1,40 y en el caso de lo que se denomina mezcla carburante (el gas salido del carburador) puede considerarse sobre 1,41.

La temperatura absoluta varía en la siguiente relación:

$$\frac{\text{Temperatura 2}}{\text{Temperatura 1}} = \left(\frac{\text{Volumen 1}}{\text{Volumen 2}}\right)^{\gamma-1}$$

La transformacón adiabática también se conoce con el nombre de transformación *isoentrópica*, y así es nombrada en algunos tratados de Termodinámica.

5. Transformación politrópica

La transformación politrópica es una variante de la adiabática que acabamos de definir ya que se produce de la misma manera aunque el gas puede ceder o recibir calor durante el movimiento del émbolo. Tal es el caso del tiempo de compresión en la práctica, el cual constituye una auténtica transformación politrópica.

La fórmula que determina esta transformación es la misma que hemos explicado en la transformación adiabática o isoentrópica con la única variante de que el exponente γ cambia de valor.

Los ciclos termodinámicos

A la sucesión periódica de diferentes estados de presión, volumen y temperatura a la que es sometido un gas dentro de una máquina o de un motor

de modo que sufra determinadas transformaciones es a lo que se le llama *ciclo termodinámico*. Todos los motores térmicos trabajan con ciclos de este tipo, tanto la máquina de vapor, como los motores de explosión o el Diesel y las turbinas de gas.

El ciclo puede representarse con toda propiedad sobre un diagrama de Clapeyron y nos indica en todo momento no solo la presión y el volumen de los gases en cada una de las partes del ciclo, sino también el rendimiento del mismo que queda claro por la superficie ocupada por las líneas que indican las transformaciones de los gases. Por ejemplo, veamos la figura 14, que nos muestra como una película de la forma como se relaciona uno de estos diagramas con el ciclo de cuatro tiempos de un motor Diesel. En A tenemos el momento de la admisión de aire al estar abierta la válvula de admisión (Va). La línea 1-2 aumenta el volumen pero no la presión ya que trabaja a la presión atmosférica. En B nos hallamos frente al momento de la compresión que constituye el segundo tiempo de este ciclo. El émbolo sube y al mismo tiempo, tal como indica la línea 2-3 disminuye el volumen y aumenta la presión hasta valores considerables. Al llegar el émbolo al PMS, tal como vemos en C1 y C2 de esta figura, se produce la entrada de combustible con lo que, durante un período de tiempo, crece el volumen sin descender la presión (es el punto 3-4). El émbolo es impelido a descender con lo que el volumen sigue aumentando y la presión decrece hasta el punto 5. Posteriormente, la abertura de la válvula de escape, tal como puede verse en D, hace que el volumen decrezca sin presión para la expulsión del gas quemado.

La repetición constante de este mismo proceso explica porqué se le denomina con la palabra ciclo.

Ahora bien, los ciclos pueden ser de varias maneras, lo que determina, por otra parte, los diferentes tipos de motores que se encuentran en el mercado. El ciclo termodinámico básico es el que ideó el propio Carnot que está constituido, simplificando su descripción por las siguientes fases (véase también la figura 15):

1ª. *Expansión isotérmica*, durante la cual absorbe calor y entrega trabajo. 2ª. *Expansión adiabática*, durante la cual se realiza trabajo sin intercambio de calor. 3ª. *Compresión isotérmica*, en la que el cuerpo recibe trabajo procedente de las fuerzas externas, entregando calor; y 4ª. *Compresión adiabática*, en la cual el cuerpo recibe trabajo sin intercambio de calor.

La representación gráfica del ciclo de Carnot se puede ver en la figura 15. Como puede deducirse de la breve explicación se trata de un ciclo que trabaja con dos líneas isotermas y dos adiabáticas y además se trata de un ciclo reversible, es decir, puede ser recorrido en sentido inverso.

Diferentes tipos de ciclos

Con las transformaciones isotermas, isocoras, isobaras y adiabáticas se pueden idear varios tipos de ciclos termodinámicos y de ellos se pueden hacer

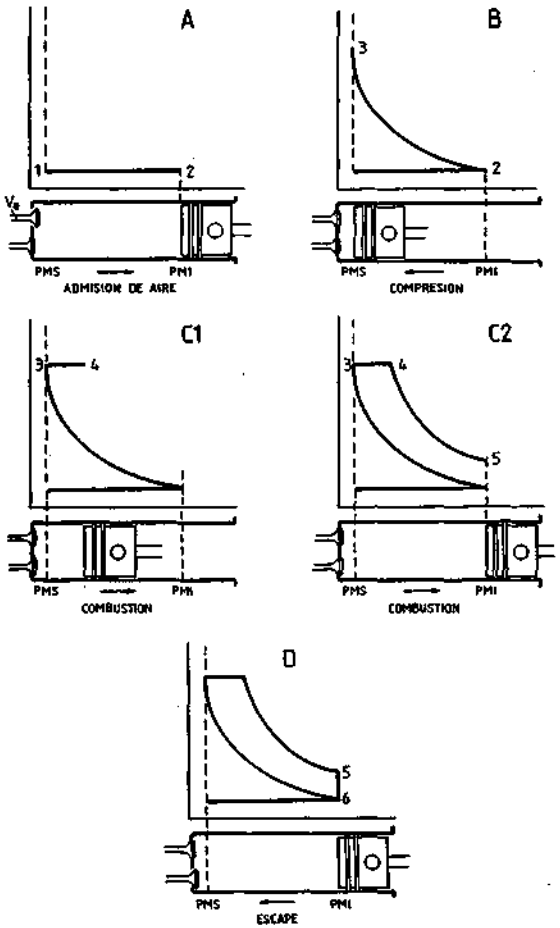


Figura 14. Diferentes fases del ciclo termodinámico de un motor Diesel representadas sobre un diagrama de Clapeyron.

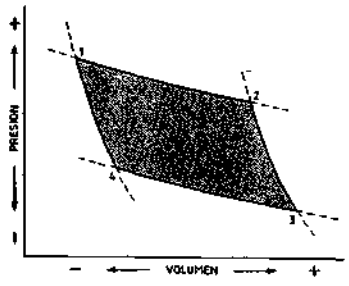


Figura 15. Ciclo de Carnot. De 1 a 2, expansión isotérmica. De 2 a 3, expansión adiabática. De 3 a 4, compresión isotérmica. De 4 a 1, compresión adiabática.

cuatro variantes que nos va a resultar preciso considerar para hacernos cargo más a fondo de lo que son las máquinas creadas por el hombre para sacar trabajo del calor. Estos ciclos son:

- Ciclo a temperatura constante.
- Ciclo a volumen constante.
- Ciclo a presión constante.
- Ciclo de dos tiempos.

Veamos por separado cada uno de estos ciclos para comentarlos brevemente.

Ciclo a temperatura constante

A este tipo corresponde el ciclo de Carnot y es el que se utiliza en los motores que funcionan bajo el sistema de la máquina de vapor. En la figura 16 tenemos el diagrama que le corresponde. Tanto las líneas A-B como C-D

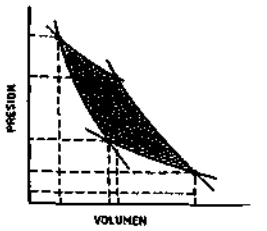


Figura 16. Representación sobre un diagrama de un ciclo a temperatura constante como el utilizado en la máquina de vapor.

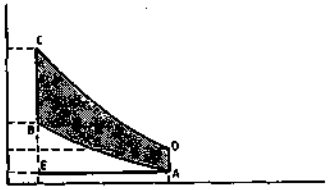


Figura 17. Representación sobre un diagrama de un ciclo a volumen constante como es el utilizado en los motores de explosión del ciclo Otto.

son adiabáticas y corresponden a la compresión y a la expansión respectivamente; las otras dos líneas son isotermas.

A pesar de guardar gran parecido con el ciclo de Carnot tiene el inconveniente de que la máquina de vapor no logra conseguir diferencias de temperatura muy sustanciales para sus focos de calor, tal como quiere el principio de Carnot que ya comentamos en su momento. Por esta razón su rendimiento es bastante bajo. En efecto: mientras en los motores de combustión interna se pueden encontrar saltos térmicos de más de 1.000 °C, en la máquina de vapor y por razones técnicas de su estructura, estas diferencias no pueden ser superiores a los 300 o 350 grados. Pero no vamos a ocuparnos de este tipo de máquinas pues no es este nuestro objetivo.

Ciclo a volumen constante

El diagrama teórico típico de este ciclo para los motores de cuatro tiempos lo podemos ver en la figura 17. Corresponde al llamado *ciclo Otto* y es el propio de los motores de explosión que tanto se utilizan en los automóviles modernos. Sus tiempos están aquí reproducidos en cada una de las líneas como es corriente en los diagramas y desde el punto de vista termodinámico hemos de interpretarlas del siguiente modo:

La línea E-A corresponde al tiempo de admisión. Se trata de una isobara que aumenta el volumen manteniendo la presión ligeramente inferior a la atmosférica.

La línea A-B corresponde a la compresión y es una adiabática que reduce volumen y aumenta la presión. El valor de presión obtenido una vez acabada la carrera del émbolo correspondiente a este tiempo resulta mucho más baja que en el ciclo Diesel debido a que la relación de compresión de estos motores está limitada por el autoencendido a que es propensa la gasolina mezclada con el aire.

La línea B-C representa el mismo momento de la explosión o salto de la chispa eléctrica entre los electrodos de la bujía. Durante una fracción de segundo el gas aumenta la presión considerablemente produciendo una isocora. Acto seguido comienza la mezcla encendida a liberar su calor y a aumentar

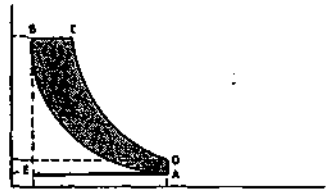


Figura 18. Representación sobre un diagrama de un ciclo a presión constante como es el utilizado por los motores Diesel que ideó Rodolfo Diesel.

de volumen lo que constituye la carrera descendente y motriz de este ciclo y se halla representada por la línea C-D que es adiabática.

La línea D-A corresponde a la primera parte del escape que se produce por medio de una isobara. Al llegar el émbolo a su PMI el valor de la presión ha descendido de una manera importante; pero en el momento de abrirse la válvula de escape la presión decae hasta muy cerca del valor de la presión atmosférica. Este es el momento en que se produce la carrera ascendente del émbolo correspondiente al tiempo de escape, es decir, la línea A-E, que es también una isobara. Sobre este punto hay que destacar que el escape se realiza en la práctica a una presión ligeramente superior a la atmosférica, lo que facilita la salida de los gases, mientras la admisión difícilmente logra valores que estén igualados al de una atmósfera, tal como ya se ha dicho.

El presente ciclo se llama a *volumen constante* porque el tiempo que lo singulariza es aquel momento en que se produce la chispa y se enciende la mezcla: la primera reacción del gas consiste en aumentar la presión (línea B-C de la figura 17) manteniendo el volumen constante hasta que empieza la expansión. Esta línea B-C, como ya hemos indicado en su lugar, es una línea que indica una transformación isocora, o lo que es igual, a volumen constante.

Ciclo a presión constante

En el motor que ideó Rodolfo Diesel las cosas funcionan con ciertas diferencias, tal como vimos al explicar su ciclo, y también termodinámicamente; ello hace que se proporcionen otros resultados en cuanto a presiones y volúmenes. En la figura 18 tenemos el diagrama teórico que se produce durante el funcionamiento de este sistema. Recordemos que la compresión se hace con solo aire y que luego el combustible será inyectado. Pues bien: El aire, a diferencia de la mezcla (que contiene aire y gasolina), puede ser sometido a muy altas compresiones sin el más mínimo peligro de autoencendido, de modo que ello determina el aumento de presión que delata la línea A-B en la figura 18. Esta es una línea adiabática.

En el momento en que el aire ha sido comprimido y ha alcanzado con ello la temperatura adecuada para la combustión se le aporta, por medio de

la inyección, el gasóleo necesario y se produce el tiempo de combustión (B-C) tiempo que se realiza por medio de una transformación isobara o de presión constante. Obsérvese que se trata de una línea recta en la que va disminuyendo el volumen pero no así el valor de la presión, de ahí su nombre de presión constante que se aplica a todo el conjunto de este ciclo.

La línea C-D que sigue corresponde a la expansión del gas en el interior del cilindro, formado por una línea adiabática en la que desciende la presión y aumenta el volumen y que queda definida hasta el punto D. En cuanto a D-A es una línea isocora, o de volumen constante, que determina el momento de la expulsión o escape, tiempo que se complementa con la línea isobara A-E.

Por supuesto, la admisión se hace con otra línea isobara que corresponderá al recorrido E-A. La permanente repetición de este ciclo es lo que hace que el motor nos pueda proporcionar su potencia.

Ciclo de dos tiempos

El diagrama del ciclo de los motores de dos tiempos ha de ser, por supuesto diferente, tanto en su versión de volumen constante, tal como es el ciclo Otto, como en el caso de presión constante, o ciclo Diesel, ya que con sólo dos carreras del émbolo se realizan los cuatro tiempos que son la base de estos ciclos. Dado el hecho que ya comentamos de que los motores utilizados en el automóvil son de cuatro tiempos no vamos a entrar en detalles sobre la forma de producirse estos diagramas desde el punto de vista termodinámico.

Solamente, y como orientación, tenemos, en la figura 19 un diagrama de un motor Diesel de dos tiempos, el cual se compone de dos líneas adiabáticas y dos líneas isobaras.

Advertencia sobre estos ciclos teóricos

Lo que se ha descrito hasta aquí son los ciclos teóricos en que termodinámicamente se define el funcionamiento de los motores actuales. Pero en la práctica, y debido a una serie de factores que ya estudiaremos en su momento, para obtener el mayor rendimiento posible del diagrama se efectúan algunos cambios que a la larga dan mejor resultado en cuanto a la potencia proporcionada. A este respecto resulta singularmente importante la variación que termodinámicamente se hace del ciclo de presión constante o ciclo Diesel, hasta tal punto de que algunos tratadistas han llegado a designarlo con el nombre de *ciclo mixto teórico Diesel*, ya que, en efecto, participa, en una parte del desarrollo del diagrama, de un momento en que actúa con una línea isocora, o de volumen constante, al igual que lo hace el motor de explosión. Puede decirse que todos los motores modernos Diesel, y en especial los motores rápidos y ligeros que propulsan a los automóviles, debemos analizarlos en su funcionamiento teórico a través de este ciclo mixto Diesel en preferencia al ciclo de presión constante que es, sin embargo, el que lógicamente les conviene. Veamos la forma de comportarse en este ciclo teórico la transformación de los gases dentro del diagrama de Clapeyron.

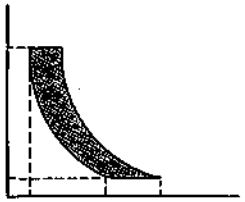


Figura 19. Representación sobre un diagrama de un ciclo a presión constante para los motores Diesel de dos tiempos.

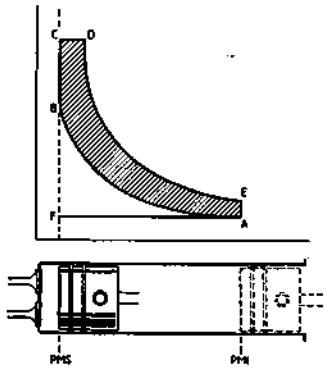


Figura 20. Forma de producirse el ciclo mixto Diesel que es el propio de nuestros actuales motores Diesel.

En la figura 20 se puede ver un diagrama de tipo mixto cuya interpretación es como sigue: Una vez producido el tiempo de admisión, el aire es sometido a la compresión habitual en la parte de las líneas de A a B. A partir de este punto B, se inicia ya la inyección de combustible, de modo que en la zona B-C se produce una fase isocora, es decir, aumenta la presión a volumen constante, tal como es típico en el diagrama de los motores de explosión.

Durante la fase C-D la combustión se sigue produciendo, aunque esta vez, como se advierte, a presión constante (isobara) y es el tiempo motriz o el productor de trabajo, situación que se prolonga también en la línea D-E hasta que el émbolo llega a su PML

Por último queda la fase de escape (E-A-F) que se produce del mismo modo que ya se ha descrito.

Rendimiento termodinámico

El rendimiento termodinámico puede definirse *como la relación que existe entre el trabajo producido por el ciclo y la energía consumida procedente del combustible*. La gran ventaja de los diagramas de Clapeyron a este respecto, es que la superficie que queda encerrada entre las líneas representativas (la superficie rayada, por ejemplo, en la figura 20) es proporcional al rendimiento que el ciclo experimenta, de modo que comparando la superficie que encierra cada

uno de estos diagramas tenemos una idea de cuál de ellos obtiene un rendimiento mayor.

Por otra parte, no ha de resultarnos difícil conocer la cantidad de energía liberada por la combustión si conocemos la masa de combustible utilizada en ella y sabemos que el poder calorífico del gasóleo es, aproximadamente, de unas 10.300 kcal/kg.

El rendimiento termodinámico en los ciclos de volumen constante, tal como es el ciclo Otto de los motores de explosión, obtienen unos valores máximos que se acercaron al 50%, pero su rendimiento termodinámico está muy condicionado por la relación volumétrica o relación de compresión, que en estos motores, y dado el hecho de que mezclan el aire con la gasolina, presentan muchos problemas de autoencendido cuando la compresión alcanza determinados límites. Esta característica condiciona su rendimiento que sería teóricamente mayor si se pudieran alcanzar compresiones del orden de los 15 o más.

En cuanto al rendimiento termodinámico del ciclo Diesel, en su versión mixta, puede establecerse, en los motores de inyección directa, en unos valores que están entre los 65 a 70%, mucho más ventajosos que los que el motor de gasolina presenta. De cualquier manera, si observamos con atención los diagramas de las figuras 17 y 18 que presentamos anteriormente, ya podremos darnos cuenta de que, en igualdad de circunstancias, la superficie presentada por el diagrama de volumen constante es superior al presentado por el diagrama de presión constante (Fig. 17) que es el propio del motor de explosión. El hecho de poder aumentar considerablemente la relación de compresión en los motores Diesel proporciona un aumento de temperatura de considerable importancia a la hora de la combustión que se refleja claramente en el rendimiento teórico de este motor.

Ciclo real de los motores Diesel

Todo cuanto hemos dicho sobre el ciclo teórico en páginas anteriores, es decir, la forma de producirse el ciclo de cuatro tiempos y la forma como se representan los tiempos en el diagrama de Clapeyron, sufre algunas importantes modificaciones cuando el motor se pone a funcionar, en la práctica. Un ejemplo lo tenemos en algo tan sencillo como la resistencia que el aire encuentra al verse obligado a pasar a través de tubos. En el diagrama teórico suponíamos que los gases podían entrar y salir libremente sin estar sometidos al freno que representa sus cambios de dirección, el paso por los estrechos conductos de las válvulas, los giros de turbulencia a que se les obliga para obtener una mayor rapidez de la combustión y poder aumentar así su régimen de giro, etcétera. En un motor real, y sobre todo si gira a un régimen de r/min relativamente elevado, la resistencia que ofrecen los conductos, por ejemplo, determinan que en el tiempo de aspiración el cilindro se llene solamente en un máximo de un 70% de la cilindrada total del mismo debido a que la admisión se efectúa a una presión más baja a la atmosférica.

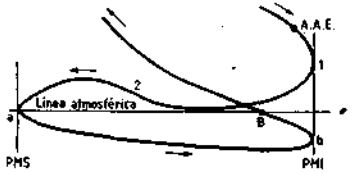


Figura 21. La línea de la admisión (a-b) se produce en la práctica por debajo de la presión atmosférica por lo que la compresión no comienza en el PMI sino en el punto B, en una parte de la carrera de compresión.

Para poder juzgar la calidad de un motor es necesario, sin embargo, conocer con detalle el ciclo teórico pues hay que comparar el diagrama teórico con el práctico. Si el motor pudiese funcionar de acuerdo con el ciclo teórico obtendríamos el máximo de potencia con el mínimo de consumo de combustible. Cuanto más se parezca el diagrama práctico o real con el teórico mejores serán las condiciones que definirán al motor en concreto.

Las condiciones de la marcha del ciclo real son las siguientes:

Primero. Por rozamientos del aire en los conductos de admisión y al paso por la válvula, la aspiración se realiza a presión inferior a la atmosférica (figura 21, línea a-b) resultando que en la aspiración el cilindro no puede llenarse por completo.

Segundo. Como quiera que el cilindro contiene el aire a presión inferior a la atmosférica, no se consigue compresión hasta que el émbolo ha recorrido una cierta parte de su carrera ascendente; por lo tanto, partimos de un volumen menor del que teóricamente se suponía (punto B del diagrama de la figura 21).

A este factor hay que unir las pérdidas de calor a través de las paredes y a las fugas que pueden producirse por los aros y asientos de las válvulas todo lo cual da como resultado una línea de compresión en el diagrama situada por debajo de la teórica y, consecuentemente, una presión final de de compresión también inferior de la teóricamente posible. (Ver figuras 22 y 23).

Tercero. Como se ha dicho al describir el ciclo mixto correspondiente al Diesel, la combustión no es enteramente a presión constante, pues es imposible regular la inyección de forma que la progresiva combustión de las gotitas de combustible compense la caída de presión que se origina por el aumento de volumen de la cámara al separarse el émbolo del PMS (Fig. 24). Para esto debería arder inmediatamente después de entrar en el cilindro, pero a pesar de la óptima pulverización conseguida en la inyección por aire, es necesario un lapso de tiempo para que el calor penetre en las gotitas y eleve su temperatura hasta el momento en que las inflame y se inicie la combustión. Este tiempo se denomina de encendido y es brevísimo, del orden de milésimas de segundo.

En el motor Diesel de inyección directa la fase de combustión a volumen constante es imposible de conseguir, pues debido al retraso del encendido y

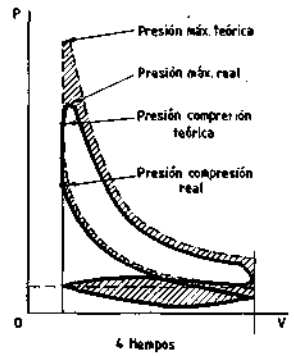


Figura 22. Diagrama real de un motor Diesel de inyección directa. La parte de puntos corresponde al diagrama teórico y la zona rayada indica las pérdidas de rendimiento entre el diagrama real y el teórico.

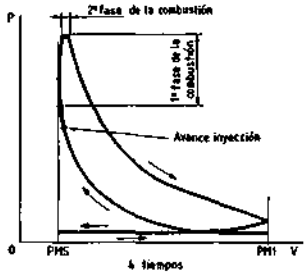


Figura 23. Diagrama real de un motor Diesel obtenido con un indicador de diagramas.

al no ser la combustión instantánea, no puede desarrollarse del todo con el émbolo en PMS. La segunda parte de la combustión, que se puede ver en la zona f de la figura 24 varía con respecto al diagrama teórico tal como se muestra en esta figura.

Cuarto. Debido a que la combustión se inicia a menor presión de la que se acredita en el diagrama teórico, tal como acabamos de ver en la figura 24, la presión máxima alcanzada es también menor y, unido esto a las pérdidas de calor durante la expansión, resulta que la línea de la citada expansión nos queda en el diagrama real a menor presión que en el teórico, como puede observarse en g de la figura 24. Por otro lado, la válvula de escape se abre

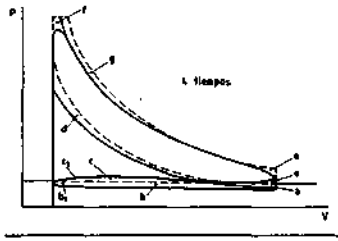


Figura 24. Comparación entre un diagrama teórico y uno real. a, estrangulación final de la admisión. b, depresión en la carrera de aspiración. c, sobrepresión durante la expulsión de gases. d, refrigeración al comprimir. e, caída de presión al abrirse el escape. f, pérdidas durante la combustión. g, refrigeración durante la expansión. b_1, abertura de la admisión. c_1, cierre del escape.

antes de completar el émbolo la carrera de expansión, por lo cual la expansión de los gases no dura la carrera completa tal como se consideraba en el diagrama teórico que se ha comentado con anterioridad. (Ahora nos referimos a la caída señalada con e, en la figura 24.)

Quinto. El escape, debido a los rozamientos de los gases con las paredes del cilindro, al paso por la válvula y conductos, se realiza a presión superior a la atmosférica (valores señalados en c de la citada figura 24).

Mediante la figura 21 podemos seguir el fenómeno del escape. La válvula se abre en la parte indicada AAE (adelanto abertura escape), antes de alcanzar el PMI y los gases bajan de presión hasta el punto 1, momento de la llegada del émbolo al PMI. Sube el émbolo y los gases continúan saliendo a gran velocidad; debido a ello ejercen una succión en el cilindro experimentando la presión de los gases una caída suave (la línea de escape se aproxima a la atmosférica). Cuando llega el émbolo al punto señalado con 2, la velocidad de los gases ya no es tan elevada, dando lugar a que el émbolo los empuje, ocurriendo que al no poder salir por la válvula de escape tan deprisa como empuja el émbolo, experimentan un aumento de presión que se aprecia en el diagrama por la subida ligera de presión que se observa al final de la línea de escape.

Al finalizar la citada carrera de escape queda en el espacio muerto una cierta cantidad de gases a una temperatura de unos 300 °C. El cerrar la válvula, después del PMS tiene por objeto lograr que por inercia sigan saliendo los gases; así, de esta forma, los gases residuales que aún quedan en el cilindro disminuyen su presión hasta casi un valor igual al de la presión atmosférica. Por otra parte, la válvula de admisión debe abrirse un poco antes de que el émbolo alcance su PMS para facilitar que la entrada del aire nuevo se produzca exactamente en el momento en que el émbolo comienza a bajar. Esta situación hace que en un momento dado las dos válvulas —de escape y de admisión— se hallen abiertas, situación que se denomina *cruce de válvulas*.

Parece a primera vista que el cruce de válvulas puede ser contraproducente pues al estar abiertas simultáneamente las válvulas de admisión y escape cuando ésta posea cierta presión podría provocar una derivación de los gases hacia el conducto de admisión; pero en la práctica no ocurre así, ya que debido a la velocidad que poseen los gases de escape, por inercia, continúan saliendo. Además ejercen una succión al pasar cerca de la válvula de admisión que facilita la posterior entrada de aire.

Los gases residuales originan dos tipos de pérdidas. Una de ellas es el resultado de que se mezclan con el aire aspirado, impidiendo, por falta de aire puro, inyectar toda la cantidad de combustible de que es capaz la cilindrada; y otra, consistente en que, en la aspiración o admisión, no penetra de nuevo aire hasta que la presión de estos gases no resulta inferior a la presión atmosférica.

Todo lo dicho en estos cinco puntos es el cúmulo de causas que producen pérdidas en el funcionamiento del motor real de modo que su rendimiento sea menor que el que debería ser si se cumpliera el ciclo teórico; o dicho de otra manera, el diagrama real tiene menos superficie que el diagrama teórico. En las figuras 22 y 24 tenemos, en la parte rayada en el primer caso y señalada

con letras en el segundo, la indicación de las pérdidas de superficie que se dan entre los dos diagramas básicos.

Rendimiento efectivo

Desde el punto de vista práctico, lo que más nos interesa de un motor es su rendimiento efectivo que es la relación que existe entre la energía proporcionada por el motor en forma de trabajo y la energía que poseía la masa de combustible que consumió para lograr este mismo trabajo. El rendimiento efectivo es el resultado final de una serie de rendimientos intermedios como son el rendimiento termodinámico, el rendimiento del ciclo y el rendimiento mecánico relativo a los órganos auxiliares para hacer posible la función del motor.

En la práctica este rendimiento se suele dar de una forma global estableciendo lo que se llama el consumo específico que consiste en los gramos de combustible que se consumen por CV y por hora, o bien, en el caso de utilizar las unidades más modernas de potencia, el consumo en gramos por kW/h.

En los motores actuales se están dando las siguientes cifras para estos valores indicados:

Motores Otto de gasolina:

De 200 a 230 g/CV/h (o 270 a 310 g/kW/h) lo que viene a representar un rendimiento efectivo de un 27 a un 30%

Motores Diesel con inyección indirecta:

En este grupo de inyección indirecta se encuentran casi todos los motores Diesel que se fabrican actualmente para automóvil ya que esta disposición de la inyección permite elevar el número de r/min del motor. Sus rendimientos son los siguientes:
De 190 a 210 g/CV/h (o 260 a 285 g/kW/h), lo que viene a representar un rendimiento efectivo de un 30 a un 32 %

Motores Diesel de inyección directa:

Los motores Diesel de inyección directa se utilizan en automoción para constituir la planta motriz de los autocamiones. Son, desde luego, de mayor rendimiento, pero son mucho más lentos por lo que su relación peso/potencia es mucho más elevada que en el caso de los motores de inyección indirecta.
De 150 a 170 g/CV/h (o 200 a 230 g/kW/h), lo que representa un rendimiento de un 36 a un 40 %

Como puede verse de los números que se dan, las pérdidas son bastante importantes, tanto para los motores de gasolina como para los Diesel, pero menor para éstos. Los gráficos de las figuras 25 y 26 ponen de manifiesto a dónde va a parar la energía que el combustible consumido contiene. En la primera figura tenemos un gráfico que muestra la distribución de las pérdidas de la energía recibida en un motor de explosión. Así vemos que del 100 % de la energía calorífica sacada a la gasolina solamente un 27 % se convierte en energía mecánica aprovechable. El resto se reparte en pérdidas de calor que salen en los gases de escape (33 %) en los sistemas de refrigeración (30) y el resto pasa a ser utilizado por los diferentes accesorios que son indispensables al motor para su propio funcionamiento.

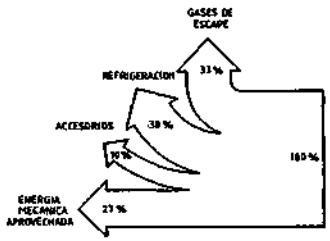


Figura 25. Distribución de la energía recibida del combustible en un motor de explosión. Solamente el 27 % de la misma tiene un aprovechamiento en energía mecánica.

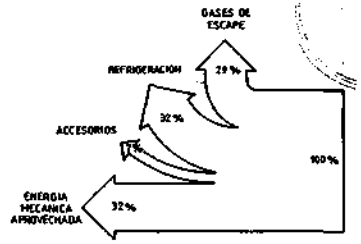


Figura 26. Distribución de la energía recibida del combustible en un motor Diesel.

En la figura 26 se ve un gráfico semejante pero esta vez dedicado a las pérdidas que se ocasionan en un motor Diesel. Aquí vemos que la energía mecánica aprovechable es de un 32 %; las pérdidas por el escape son menores, del orden de un 29 %, mientras en el agua de refrigeración se consume una energía mayor (32 %) de la consumida en los motores de explosión. En los accesorios el balance es inferior para el caso de los Diesel.

Aunque estos gráficos son orientativos y, en todo caso deberían hacerse cada uno para un motor determinado, la realidad es que en todos los casos el motor Diesel sale más beneficiado que el motor de explosión y ello se pone claramente de manifiesto en la práctica por el hecho de que, a igualdad de potencia, los motores Diesel consumen menos que los motores de explosión, si bien, en otros aspectos, no tienen el temperamento que es propio y típico del motor de gasolina, además de otras diferencias que ya veremos muy pronto cuando, en el próximo capítulo, hagamos la comparación en los aspectos más importantes de ambos motores.

Pero antes de terminar sí consideramos importante hacer una comparación entre los motores de explosión y los Diesel desde un punto de vista que tiene que ver mucho con la Termodinámica: Nos referimos a la relación de compresión. Con este estudio daremos por terminado este capítulo.

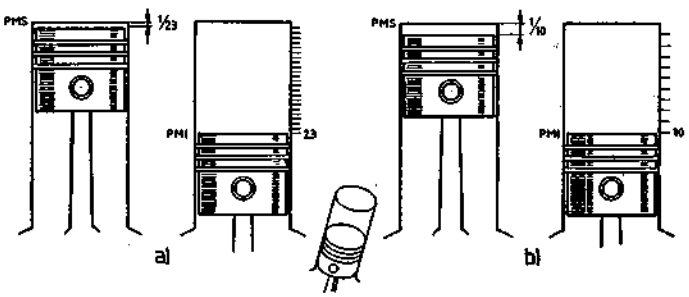


Figura 27. Representación de la relación de compresión en los motores Diesel (a) y en los de gasolina (b).

La relación de compresión

Al hablar en páginas anteriores de los postulados termodinámicos de Carnot ya se vio que para sacar trabajo del calor era indispensable la creación de un foco caliente en contraposición a un foco frío. Cuanto más grande es el desnivel térmico tanto mayor es el rendimiento de la transformación energética. Por lo tanto, elevar la temperatura antes de la producción del encendido resulta significativamente beneficioso para aumentar el rendimiento del motor.

Para conseguir aumentar la temperatura de los gases en estas condiciones la solución más fácil consiste en comprimir estos gases tanto como sea posible antes de que se produzca el salto de la chispa de encendido en los motores de explosión o la entrada inyectada del gasóleo en el caso de los motores Diesel. A medida que son comprimidos los gases aumentan su temperatura a la vez que su presión y ello resulta beneficioso para conseguir una combustión más rápida y más caliente.

Aunque en principio todos sabemos a qué se llama en un motor relación de compresión (conocida también con el nombre de relación volumétrica) desde un punto de vista geométrico, vamos a insistir sobre ello por si alguien reserva alguna duda sobre este concepto. En la figura 27 se representa el interior de un cilindro por el que se desliza un émbolo. El volumen geométrico del cilindro queda representado por la distancia que ocupa el émbolo entre el PMI y el PMS. Cuando en un motor de cuatro tiempos, la válvula de admisión se abre y el émbolo que se hallaba inicialmente en PMS desciende hasta llegar a la parte más baja de su carrera, o PMI, todo el espacio ocupado por el cilindro se llena de gas (ya sea mezcla o simplemente aire). En el ciclo teórico se cierra en este momento la válvula de admisión y como que la válvula

de escape también permanece cerrada, al subir de nuevo el émbolo hacia su PMS el gas que había entrado en el cilindro comienza a comprimirse. La relación que existe entre el volumen inicial y el volumen final a que el gas queda convertido constituye la relación de compresión.

En la figura 27 y en *a* de la misma tenemos una representación, a la izquierda, de la reducción de espacio a que llega a ser sometido el gas admitido en un motor Diesel para automóvil: Es decir, hasta 23:1. En general, en estos motores, las compresiones van de 14:1 hasta 23:1 y pueden ser tanto más elevadas cuanto más ligero es el motor.

Por el contrario, en la parte *b* de la misma figura 27 tenemos una representación similar para un motor de ciclo Otto de gasolina. Aquí vemos como en iguales condiciones la reducción del volumen inicial se ha efectuado solamente en 10:1. En efecto, en los motores de gasolina la relación de compresión oscilan entre 8:1 y 10:1 y sólo muy excepcionalmente y en motores de competición, se logran valores más altos, aunque ello obliga a los ingenieros a hacer motores con soluciones mecánicas mucho más caras y siempre se compromete la duración del motor.

De todo lo dicho se deduce que la relación de compresión es el resultado de sumar el volumen del cilindro más el volumen de la cámara de combustión (que es la parte que queda todavía más arriba del PMS del émbolo en la mayoría de los casos) y todo ello dividido por el propio volumen de la cámara. En efecto: La fórmula que determina esta relación de compresión (R_c) es la siguiente:

$$Rc = \frac{V + v_c}{v_c}$$

en donde V es el volumen del cilindro y v_c representa el volumen de la cámara de combustión.

Aclarado este concepto pasemos a ver qué relación guarda la compresión con el rendimiento termodinámico.

Como decíamos al principio la relación de compresión tiene que ver con la presión que existe al final del tiempo de compresión y también con la temperatura que se alcanza en este mismo momento. Con respecto a la primera se puede calcular precisamente a partir de la relación de compresión real, medida por medio de un compresómetro y por medio del exponente «*n*» ligado a los cambios térmicos, en donde

$$\text{Presión final} = \text{Presión inicial} \times R_c^n$$

en donde R_c^n es la relación de compresión elevada al valor de *n* que en el caso de una compresión adiabática, y que consecuentemente no hay cambio de calor, tiene un valor teórico de 1,40 para el aire; pero su valor práctico puede tomarse como de 1,30 a 1,37.

De acuerdo con estos resultados las presiones de fin de compresión que

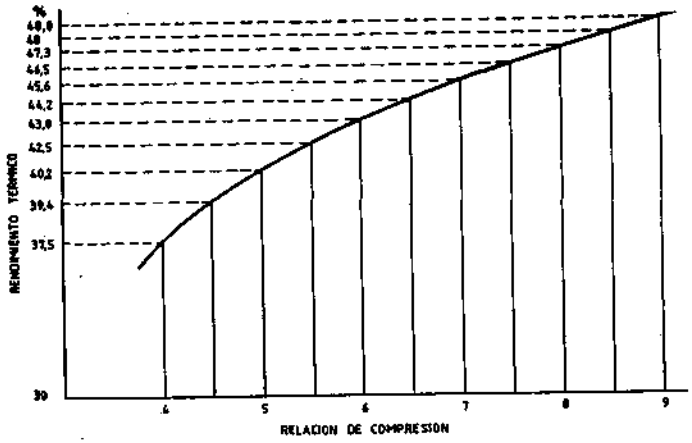


Figura 28. Curva de rendimiento de un motor de explosión a medida que aumenta la relación de compresión.

suelen presentarse están en orden a los de 8 a 15 bar para los motores de gasolina, y de 20 a 40 bar para los motores Diesel.

En cuanto a las temperaturas de fin de compresión son especialmente importantes para el motor Diesel ya que el encendido del gasóleo se hace en virtud de la temperatura final de compresión y aunque este combustible ya se inflama a los 280 °C la realidad es que hay que conseguir temperaturas de alrededor de los 600 °C para asegurar el buen y rápido quemado.

Con respecto al rendimiento termodinámico tenemos que la fórmula más sencilla que lo determina es aquella que lo define así:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c}$$

en donde η_t es el rendimiento térmico y R_c la relación de compresión. De acuerdo con ello vemos que cuanto mayor podamos hacer la relación de compresión en el motor Otto tanto mayor será el rendimiento térmico del mismo, y esta situación queda representada también en la figura 28, en la que se relaciona en la línea vertical el rendimiento térmico (η_t) con la compresión volumétrica (R_c) en la línea horizontal. Como puede apreciarse, a medida que aumenta la compresión el rendimiento mejora sus valores.

El problema grave con el que se encuentra el motor Otto para adquirir presiones elevadas se centra en la necesidad que tiene de recibir en el interior del cilindro mezcla explosiva, es decir, mezcla de aire con gasolina. Además, el motor tiene que poder regular con toda exactitud el momento en que se produzca el encendido y si las temperaturas y la presión en el interior del cilindro (y próximas al PMS) sobrepasan ciertos límites, la gasolina que se halla mezclada con el aire puede autoencenderse y provocar la expansión de los gases antes de que el émbolo haya llegado al PMS, lo cual es algo altamente pernicioso para el desarrollo del ciclo. En su consecuencia hay que conseguir que las gasolinas tengan el menor grado posible de autoencendido. La compresión del motor Otto juega aquí un papel primordial: Por circunstancias propias de la naturaleza de los combustibles, el aumento de presión que representa el aumento de compresión provoca y desencadena una serie de fenómenos en el comportamiento de la gasolina pulverizada que los mecánicos conocen con el nombre de *autoencendido* y de *picado*, ambos muy perniciosos para el motor, de modo que es preciso de todo punto no traspasar ciertas fronteras en los valores de la relación de compresión si antes no encontramos soluciones para evitar la presencia de estos fenómenos. En este aspecto, se ha trabajado mucho en la forma dada a las cámaras de combustión de modo que se favorezcan los movimientos de turbulencia de la mezcla para hacer más rápida su combustión; se ha trabajado también con las gasolinas aumentando, mediante aditivos, su poder antidetonante de modo que soporten mejor unas presiones más altas. Todo ello, en efecto, ha sido muy positivo, y el motor de gasolina ha ido escalando valores cada vez más altos en la relación de compresión, lo que explica más que otro cualquier adelanto técnico, el notable aumento de rendimiento que los motores han ido observando a través de los últimos años. Téngase presente que en los años cincuenta los valores de la relación de compresión normales estaban en 6:1 mientras ahora lo corriente es 10:1. Sin embargo, el motor de gasolina todavía tiene que esforzarse por mayores logros si quiere mejorar su rendimiento.

Este problema no afecta al motor Diesel. Al comprimir exclusivamente aire y no ser éste explosivo, la relación de compresión solamente le presentará problemas de estanqueidad y de las temperaturas más altas alcanzadas, pero queda limitada al diseño del motor. Por aquí encontramos la explicación inicial del porqué el motor Diesel viene a consumir en igualdad de circunstancias alrededor de un 30 % menos que el motor de gasolina. También nos da una explicación previa, que estudiaremos con detalle más adelante, del porqué la sobrealimentación es más fácil de llevar a cabo con el Diesel que con el motor de explosión ya que en éste se aumenta la relación de compresión a poco que se aumente la presión de entrada de los gases lo que, como hemos visto, presenta males mayores. No ocurre del mismo modo con el Diesel en el que el mayor llenado de aire favorece el llenado y la combustión tal como veremos con detalle en los capítulos correspondientes a este mismo tema, más adelante.

Para finalizar veamos en la figura 29 un gráfico indicador de las variaciones del rendimiento térmico para un motor Diesel con una compresión de hasta 18:1. Como puede observarse comparando este gráfico con el que dimos

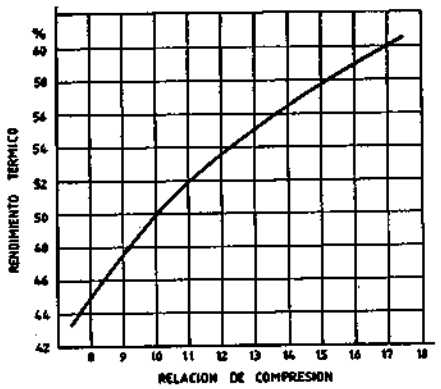


Figura 29. Curva del rendimiento de un motor Diesel según el grado de compresión a que es sometido el aire.

para el motor Otto en la pasada figura 27 la diferencia es notable a favor del motor más comprimido, cosa que no ha de sorprendernos después de haber estudiado las principales leyes de la Termodinámica a las que ha estado dedicado este capítulo.

2

EL MOTOR DIESEL Y EL AUTOMOVIL

Gracias a lo expuesto en el capítulo anterior que nos ha centrado sobre el tema de las diferencias técnicas que se establecen entre el motor de gasolina y el motor Diesel, vamos a poder entrar de lleno en el tema de la comparación de ambos motores cuando se les encomienda una misma labor, que en este caso consiste en servir de planta motriz para un automóvil.

Lo que sí hay que observar desde el principio es que los motores Diesel ya funcionaban en 1897, primero en forma de motores estacionarios pero, desde que en 1912 se inventó y puso a punto la primera bomba de inyección mecánica, el motor Diesel ya podía constituir una unidad autónoma y, como el motor de ciclo Otto, hubiera podido competir con éste en la naciente y muy floreciente industria del automóvil, y más todavía si, como nos ha demostrado la Termodinámica que hemos estudiado en el capítulo anterior, su rendimiento es superior y con él su economía. La verdad es que, pasado el período de interrupción que representó la llamada Gran Guerra de los años 14-19, el interés de los ingenieros por este tipo de motor no fue pequeño. De hecho, ya en 1922 Karl Benz construyó motores Diesel destinados a la automoción y algunos ejemplares se encuentran en el *Deutsches Museum*, en el que hay una gran colección de motores antiguos. Este motor BENZ se construyó inicialmente de dos cilindros y debía ser montado en un tractor. Más tarde, en 1924, se construía un motor de cuatro cilindros (Fig. 1), con una cilindrada de 4.900 cm^3 que obtenía los 50 CV a 1.000 r/min.

La aplicación esporádica del motor Diesel al automóvil pudo ser bastante antigua. Desde luego, en 1922 ya hay precedentes de pruebas realizadas en

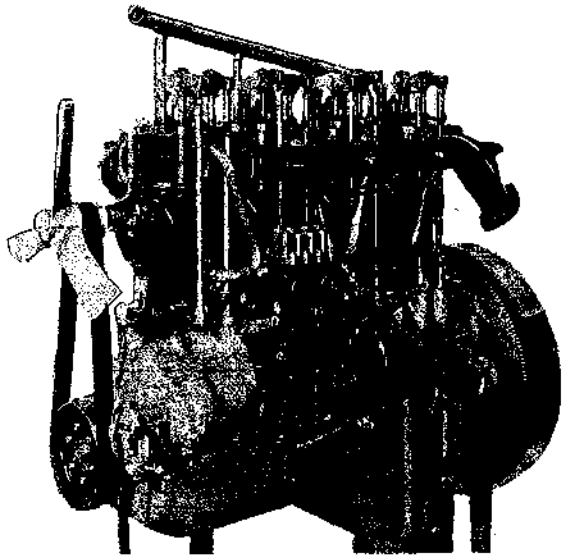


Figura 1. Antiguo motor Diesel de la marca BENZ, construido en 1924.

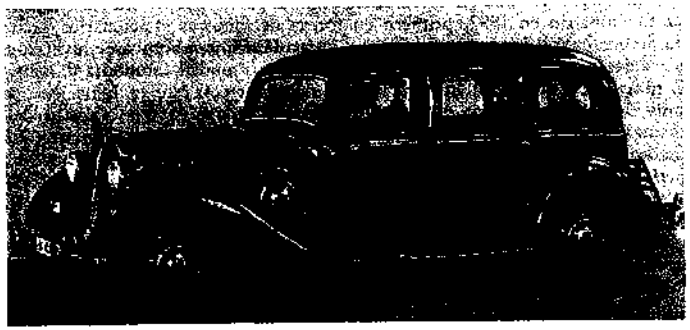


Figura 2. En 1936 la fábrica MERCEDES-BENZ se decidió a fabricar en serie el modelo *260 D* con el que comenzaría la conquista del sector del automóvil por parte del motor Diesel.

carretera por la casa PEUGEOT en un automóvil equipado con un motor Diesel diseñado y puesto a punto por el ingeniero Tartrais de la marca. Los resultados no debieron ser tan buenos cuando el motor jamás se fabricó en serie para estos usos por su gran dificultad en poder competir con el motor de explosión de la época que resultaba más ligero, menos voluminoso, más potente y más barato que el motor Diesel, el cual solamente podía ofertar su menor consumo como contrapartida ante este cúmulo de ventajas.

De hecho, la primera aparición con futuro de un motor Diesel ligero aplicado a un automóvil no se produjo hasta el año 1936 con el famoso MERCEDES modelo *260 D*, cuyo aspecto exterior podemos ver en la figura 2. Para este vehículo la casa alemana construyó un motor que se adaptara a las necesidades de un automóvil. Se trataba de un cuatro cilindros, de 2.600 cm^3 que alcanzaba las 3.500 r/min, y con ellas los 45 CV; por lo tanto era un Diesel ligero que se mantenía a un número de vueltas no muy alejadas de las que conseguían por aquellas fechas los motores de gasolina. El resultado de este automóvil fue tan bueno que ya jamás dejó MERCEDES de fabricar automóviles equipados con motor Diesel, los cuales, por otra parte, tuvieron una gran acogida, dentro de lo que cabía esperar, por parte de un sector de público que necesitaba el automóvil como herramienta de trabajo, y en su profesión acumulaban muchos miles de kilómetros al año. Al bajo consumo de estos motores se unía la circunstancia de los excedentes de gasóleo que existían y que hacían que este combustible se vendiera a mucho menor precio que la gasolina de modo que el ahorro general resultaba importantísimo y en aras a él valía la pena renunciar a la mayor velocidad y potencia de los motores de gasolina. En los años de la posguerra los MERCEDES de «gasoil» fueron muy buscados ya que escaseaban las gasolinas. Esta fábrica alemana unió a su gama varios modelos famosos en su tiempo: El *170 D*, de 1949, y sobre todos el *180 D* de 1953, de gran belleza de líneas, al igual que el *190 D* de 1958.

Hacia 1960 comenzó la firma francesa PEUGEOT a seguir una política similar a la que llevaba a cabo la *Daimler-Benz* desde hacía muchos años, y estudió un motor para su aplicación a las berlinas del modelo *403*. Con este fin nació el motor Diesel *TMD 85* del cual se han derivado y se derivan muchos de los grandes motores para automóvil de la marca francesa. El primer ejemplar de importancia fue el modelo XD 88 que sirvió para equipar al PEUGEOT *404*. Más tarde, el XD 90 hacía lo propio para el modelo *504* de la marca. Este motor, de 2.112 cm^3 y una potencia de 65 CV a 4.500 r/min lo podemos ver en la figura 3 seccionado en alguna de sus partes para que se puedan ver detalles de su interior. A estos motores les sucedieron los XD 2 y los XD 2S, el segundo sobrealimentado, con una potencia de 80 CV. a las 4.150 r/min, motores utilizados, el primero, en los modelos *505* normales y el segundo en los *604*, *505* en el TALBOT modelo *Tagora* Diesel, etcétera.

Por último, en la figura 4 tenemos el dibujo de otro motor de la gama PEUGEOT. Se trata del famoso XUD 9, de una cilindrada total de 1.905 cm^3 y una potencia de 65 CV (47 kW) a 4.600 r/min. Este motor ha equipado muchas unidades de automóviles de las marcas TALBOT y CITROEN.

El resto de las fábricas de automóviles no tomaron demasiado en serio

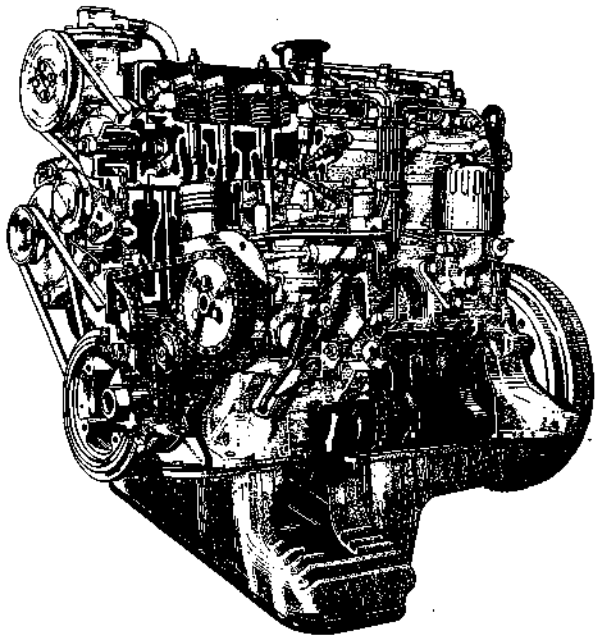


Figura 3. Vista seccionada de un motor PEUGEOT *Indenor* XD 90. Con una cilindrada de 2.112 cm³ este motor alcanzaba los 65 CV DIN a 4.500 r/min. con un par máximo de 12,60 m. kg a 2.000 r/min.

la fabricación de motores Diesel para los automóviles hasta finales de los años setenta, en la mayoría de los casos. Cierto que muchas de ellas, como la FIAT y la CITROEN ya habían tenido ciertos contactos con el motor Diesel ligero (no nos referimos, por supuesto, al motor grande de autocamión o el ferroviario y navegación en el que la FIAT, por ejemplo, ha tenido una aportación muy importante a través de los años y desde tiempos antiguos) pero en realidad no puede hablarse de un interés decidido por parte de los fabricantes de los automóviles prácticamente hasta que se inicia la década de los años ochenta y la gran crisis del petróleo que acaeció durante los años de la década anterior puede considerarse como la responsable del interés por el público por lograr medios de transporte más económicos que el automóvil dotado de motor de explosión. Es a partir de aquí cuando las fábricas de automóviles se toman

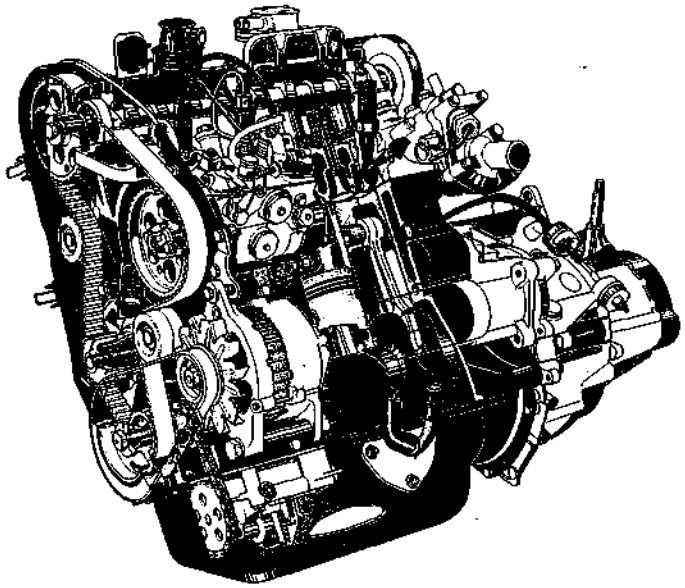


Figura 4. Otra vista seccionada de un motor PEUGEOT. Se trata del famoso motor XUD 9 de 1.905 cm³ y 65 CV DIN a las 4.600 r/min.

en serio el proyecto de motores que se adecúen a las necesidades de aceleración, fácil puesta en marcha en cualquier tiempo y condiciones, funcionamiento silencioso y una potencia comparable sin aumentar mucho el peso del vehículo que son las condiciones principales que requiere un motor que vaya a ser aplicado a un automóvil. Los diseños logrados son satisfactorios en general y hoy en día el motor Diesel propulsando automóviles abunda considerablemente en nuestras carreteras.

Por supuesto, y después de todo lo dicho, queda una pregunta en el aire: ¿Por qué un motor que ya empezaba a funcionar bien en 1924 y que de hecho tenía un rendimiento mucho mejor que el motor de explosión, no progresó lo suficiente para entrar con toda la fuerza en el mundo del automóvil, y ha tenido que esperar hasta 1980 para empezar a popularizarse dentro de este

medio? La respuesta podemos tenerla si comparamos las condiciones de funcionamiento de cada motor y su carácter o *temperamento*, con sus ventajas y sus inconvenientes, No hay que olvidar que el motor de explosión se ha unido al automóvil desde el principio de los tiempos de su historia; que ha aguantado y superado las acometidas de los motores de vapor, de turbina y Wankel... e incluso a su hermano el motor de dos tiempos. El motor Otto de cuatro tiempos ha salido siempre victorioso. Sin embargo, la invasión que el motor Diesel está haciendo ahora en el mundo del automóvil resulta lo suficientemente seria como para pensar que no va a ser pasajera incluso si, como se prevé, el precio de su combustible alcanza valores comparables con los que tiene en estos momentos la gasolina. La realidad es que al motor Diesel no le faltan facultades ni virtudes.

Comparación entre el motor Diesel y el de gasolina

La comparación entre el motor Diesel y el de gasolina puede hacerse desde diversos ángulos. Lo más corriente, en los libros dedicados al motor Diesel, es hacer esta comparación desde el punto de vista técnico; pero como quiera que ya en el capítulo 1 hemos estudiado el ciclo con atención y hemos visto la diferencia que existe entre el ciclo Otto y el que utiliza el Diesel, aquí vamos a ceñirnos exclusivamente a la comparación de ambos sistemas de motores en cuanto a sus virtudes e inconvenientes para llevar a cabo la tracción de un automóvil.

Examinemos pues, uno por uno, los principales factores que determinan o aconsejan el uso de uno u otro motores.

Economía de consumo

Dada la circunstancia, que ya hemos explicado en la parte técnica, del mejor aprovechamiento del ciclo térmico por parte del sistema utilizado en el motor Diesel es indiscutible que, a igualdad de potencia, el consumo de éste es inferior. Y fijémonos bien que se dice a igualdad de potencia y no a igualdad de cilindrada, en cuyo caso las diferencias son muy notables a favor del Diesel.

En la actualidad existen ya muchos fabricantes que equipan idénticos modelos de gran venta con la opción Diesel o gasolina. Y aunque no en todos, existen algunos que incluso ofertan estos motores de diferentes cilindradas pero de unas potencias máximas iguales. Tal es el caso, por ejemplo, de TALBOT que en uno de sus modelos ofrece

Motor de explosión.— Cubica 1.442 cm^3 y da 65 CV a 5.200 r/min.
Motor Diesel.— Cubica 1.905 cm^3 y da 65 CV a 4.600 r/min.

La comparación de ambos motores en cuanto al consumo arrastrando carrocerías prácticamente del mismo peso nos puede dar una orientación verdaderamente afinada de la diferencia entre ellos en lo que respecta a la cota del consumo.

Las pruebas realizadas en idénticas circunstancias por ciudad y carretera han dado los siguientes resultados:

	Ciudad	Carretera
Motor de explosión	11,18 l	7,76 l
Motor Diesel	9,39 l	6,15 l

Como puede observarse de la comparación de estas cifras tenemos que el motor de gasolina gasta un 19 % más en ciudad y un 26 % más en carretera que el motor Diesel. Pero, además, en este caso concreto y por razones técnicas que estudiaremos más adelante en el apartado «Fuerza» (gracias a las desmultiplicaciones) el motor Diesel puede conseguir una velocidad punta de 156 km/h mientras el modelo de gasolina no sobrepasa los 146 km/h.

Al factor del menor consumo se unen otros factores que acentúan su economía. En primer lugar hay que destacar la manera de conducir. Tal como veremos en el capítulo 12 el motor Diesel requiere una forma de conducir diferente en cuanto al tratamiento del cambio de velocidades que por su propia naturaleza hace que el conductor se adapte insensiblemente a una conducción de tipo económico. Con el Diesel se utiliza menos el freno lo que quiere decir, ya de por sí, un mejor aprovechamiento de la energía mecánica obtenida en cada momento. Como quiera que las aceleraciones no pueden ser lo vigorosas que pueden resultar en los motores de explosión, el conductor renuncia a ellas, lo que si bien rebaja en unos minutos el resultado horario del viaje, lo recompensa con un consumo todavía más reducido. En la prueba que hemos puesto de ejemplo no se ha tenido en cuenta esta circunstancia ya que los dos automóviles efectuaron el mismo recorrido en idénticas condiciones, es decir, procurando ambos la conducción más económica lo que favorecía al conductor del motor de gasolina porque si éste se hubiera lanzado a una conducción alegre sus índices de consumo hubieran alcanzado cotas bastante superiores a las logradas y apuntadas en la tabla. Con ello hubiera conseguido, sin duda, aumentar su promedio, pero sus resultados de consumo hubieran sido más elevados. Esta tentación no puede ocurrirle en la práctica al conductor de un motor Diesel.

En líneas generales puede afirmarse que el conductor preocupado por la economía dispone en la actualidad de automóviles que alcanzan mayor potencia en sus motores de lo que este conductor necesita. Cuando un conductor determina que su velocidad de crucero sean los 100 km/h, es decir, que trata de mantenerse a esta velocidad a lo largo del viaje, sin sobrepasarla, la verdad es que hasta al coche más pequeño de los fabricados en la actualidad le sobra potencia. En estas circunstancias resulta hasta cierto punto absurdo conducir un automóvil con un motor que proporcione los 90 CV (con los cuales puede

alcanzar velocidades máximas de los 170 km/h) para marchar sin sobrepasar los 100. Para ello le bastaría probablemente 55 CV arrastrando la misma confortable carrocería. Para este público se adaptan muchos motores Diesel a carrocerías de cierto lujo y confort, de cilindradas ligeramente superiores, pero con un resultado de potencia sensiblemente más bajo. Pues bien: para este conductor tranquilo el ahorro de combustible es ahora más que significativo ya que puede venir a representar ahorros de hasta un 35 % sobre el consumo promedio. No cabe duda de que para aquellas personas que precisan el automóvil como herramienta de trabajo esta economía resulta singularmente importante y muy digna de tener en consideración.

Pero además existe todavía otro factor importante en cuanto al consumo que ha de considerarse por la incidencia en el cálculo económico resultante de la comparación del motor de gasolina con el Diesel. Este factor es el precio que el combustible tiene. En efecto, el precio de la gasolina suele ser, en muchos países, del orden de un 45 % más cara que el precio del gasóleo, cosa que, por otra parte, solamente puede quedar justificado por el peso de los impuestos con los que la Administración del Estado los grava. De hecho los gastos de compra del petróleo crudo y de refinado y distribución del gasóleo son prácticamente iguales a los de la gasolina, pero no ocurre lo mismo con los impuestos. Solamente para dar una idea aproximada (el precio de los combustibles varía al pasar el tiempo de una forma irregular) puede decirse que la gasolina aporta alrededor de un 54 % de su precio para impuestos de renta monopolio y capital para el Tesoro, mientras el gasóleo lo hace en un 34 % aproximadamente. Esta medida proteccionista del gasóleo se debe a la consideración de que este combustible es el más utilizado para los trabajos del gremio del transporte, de la agricultura, la pesca, etcétera, sectores para los que el precio de la energía afecta a los productos manipulados o transportados. De popularizarse el automóvil dotado con motor Diesel, de modo que el consumo del gasóleo aumente de un modo importante, no es nada improbable pensar en que la Administración arbitre alguna norma penalizadora para los usuarios de este combustible y en especial a los automovilistas, que son precisamente los únicos que no pueden, en la gran mayoría de los casos, repercutir el aumento del coste sobre productos determinados.

De cualquier manera y manteniendo la proporción del 45 % más cara la gasolina con respecto al precio del gasóleo, ya tenemos aquí un montaje muy atrayente de las ventajas económicas que presentan los automóviles dotados de motor Diesel con respecto a los de gasolina. Transformando todos estos números y contando con el menor consumo del Diesel se puede establecer muy bien que, en líneas generales, el vehículo dotado con motor Diesel puede hacer, con el mismo precio, el doble del kilometraje que puede hacer un vehículo similar dotado con motor de gasolina, y en algunos casos esta proporción puede ser incluso superior, según el tipo de conducción a que se someta este vehículo.

Mirado desde este punto de vista, las ventajas del Diesel son abrumadoras; y así es en cuanto al consumo y mientras el precio del gasóleo se mantenga significativamente por debajo del precio de la gasolina. Sin embargo,

para un estudio económico total se tendría que contar también con otros factores tales como el precio de adquisición del vehículo y el precio de las reparaciones y mantenimiento, cosa que haremos en otro apartado, aunque se puede adelantar que, de cualquier modo, la economía favorable al motor Diesel está asegurada dada la gran ventaja que le proporciona su economía de consumo.

Aceleración

Visto de una manera muy amplia y referido exclusivamente al conjunto del automóvil, entendemos por aceleración la capacidad que tiene el vehículo de recuperar o llegar a alcanzar lo más rápidamente posible una velocidad dada. Puesto que en la práctica el automóvil se ve obligado con mucha frecuencia a modificar su velocidad por la presencia de curvas más o menos cerradas, por la presencia de otros vehículos en la carretera, por las señales de tráfico que así lo indiquen y por otras muchas causas, lo ideal para la obtención de los promedios de velocidad resultantes del viaje es la facilidad con que el vehículo pueda recuperar la velocidad de crucero que se había impuesto cuando, por cualquiera de las causas dichas, se ve obligado a reducir su velocidad. En este sentido el poder del motor para suministrar los CV de potencia necesarios para que el vehículo pueda adquirir con toda presteza la velocidad deseada es a lo que podemos designar con el término de *aceleración*.

El motor de gasolina está francamente bien dotado en este aspecto y además de una manera bien equilibrada. Al tener la potencia dividida a lo largo de un número de r/min muy amplio (y si está dotado de un buen conjunto desmultiplicador) su facilidad para escalar rápidamente los puntos elevados de su potencia máxima resulta muy adecuado para las necesidades que son propias de un automóvil. Por el contrario, el motor Diesel obtiene reacciones mucho más lentas que si bien en los motores Diesel sobrealimentados se consigue disimular sensiblemente en los motores atmosféricos requiere cierta técnica de conducción diferente cuando se trata de adelantar a otros vehículos en espacios relativamente cortos.

Aunque es difícil dar cifras a este respecto porque cada unidad o modelo se comporta de una manera diferente, vamos a poner un ejemplo concreto con los resultados obtenidos con el motor de la marca FORD, de 1.600 cm^3 que puede verse en la figura 5 y que ha sido construido para servir de planta motriz Diesel de los modelos *Fiesta* de la marca. Este motor alcanza una potencia de 54 CV a las 4.800 r/min. Montado en la carrocería del *Fiesta* proporciona los siguientes resultados de aceleración:

Con salida parada hasta 400 metros ..... 20,60 segundos
Con salida parada hasta 1.000 metros ..... 37,80 segundos

Si lo comparamos con el mismo modelo de la marca dotado con motor

Figura 5. Motor Diesel de la marca FORD, de pequeña cilindrada, construido para propulsar a los modelos *Fiesta* de la marca.

de gasolina de la misma cilindrada (1.598 cm³) nos encontramos con los resultados siguientes:

Con salida parada hasta 400 metros ..... 17,70 segundos
Con salida parada hasta 1.000 metros ..... 32,70 segundos

Pero si acudimos a hacer la comparación con el modelo equipado con el pequeño motor de 1.117 cm³ que desarrolla un CV menos que el motor Diesel, nos encontramos con los siguientes resultados:

Con salida parada hasta 400 metros ..... 18,80 segundos
Con salida parada hasta 1.000 metros ..... 36,20 segundos

Siguiendo nuestra comparación, y esta vez por potencias y no por cilindradas en donde el motor Diesel sale muy mal parado —tanto como bien parado sale si comparamos consumos a igualdad de cilindrada— nos encontramos que el pequeño *Fiesta* con motor de gasolina de 1.117 cm³ alcanza la velocidad de 100 km/h desde la salida parada en sólo 16,10 segundos, mientras el mismo modelo equipado con Diesel lo hace en 17,90 segundos.

Consideramos importante aclarar el gran valor que en estas pruebas tienen incluso fracciones de tiempo tan pequeñas como las décimas de segundo. Piénsese, por ejemplo, que en el caso de la prueba última, de salida parada hasta alcanzar los 100 km/h, una diferencia de 1,80 segundos a esta velocidad significa pasar por un punto determinado con 50 metros de ventaja después de haber salido ambos vehículos al mismo tiempo de una hipotética meta. Esta ventaja puede significar 3 o 4 metros de ventaja por segundo que son de oro, como todo buen conductor sabe, en el momento de hacer algún adelantamiento.

Pero la característica fundamental donde el motor de gasolina se muestra más convincente es en lo que se conoce con el nombre de «reprise» o recuperación. Las pruebas típicas de esta característica se llevan a cabo manteniendo el coche a 40 km/h y acelerando con la última velocidad del cambio engranada, ya sea la cuarta o la quinta según los casos. Los tiempos se controlan a los 400 metros de recuperación y a los 1.000 metros. Así se obtienen por fuerza valores que son menos satisfactorios que los obtenidos con salida parada pero dan una idea de la calidad de la aceleración del motor.

Para hacer la comparación entre el motor Diesel y el de gasolina en este aspecto vamos a continuar valiéndonos de los datos que nos pueda proporcionar el motor FORD de 1.117 cm³ de explosión y el motor Diesel de 1.600 cm³ destacando, de nuevo, que el motor Diesel alcanza un CV más que el motor de gasolina.

Los resultados medidos son los siguientes para el motor de gasolina:

400 metros desde 40 km/h en cuarta velocidad ..... 19,80 segundos
1.000 metros desde 40 km/h en cuarta velocidad ..... 38,10 segundos
De 80 a 120 km/h ..... 15,70 segundos

En cuanto a los resultados obtenidos con el mismo modelo provisto de motor Diesel son los siguientes:

400 metros desde 40 km/h en quinta velocidad ..... 25,40 segundos
1.000 metros desde 40 km/h en quinta velocidad ..... 46,80 segundos
De 80 a 120 km/h ..... 26,30 segundos

Queda a la vista que los resultados son ampliamente satisfactorios para el derrochador motor de gasolina. Aunque nos hemos ceñido concretamente a dos modelos de la misma marca y de condiciones de potencia prácticamente similares, la realidad es que comparaciones de este tipo las podríamos hacer con gran variedad de modelos de motores afines y obtendríamos resultados muy parecidos si tenemos siempre la precaución de hacer la prueba con carrocerías iguales y solamente con la diferencia de peso que el motor Diesel, al ser mayor y más robusto, aporta.

Esta es la innegable ventaja del motor de gasolina sobre el motor Diesel. Pero no nos decepcionemos con la misma facilidad con que nos habíamos entusiasmado al hablar del consumo. Son todavía muchas más las cualidades de ambos tipos de motores que se han de analizar antes de dar por acabada esta comparación. Por ahora solamente hemos visto que con un motor Diesel no se puede ser el «rey de la carretera» pero con algo de paciencia podemos hacer el doble de kilómetros que con un motor de gasolina por el mismo precio. Podemos dejar la cosa hasta aquí en un empate.

Fiabilidad

El motor Diesel resulta, en general, más robusto que el motor de gasolina. En primer lugar porque al estar sometido a una relación de compresión más del doble de la que alcanzan los motores de explosión necesita una mayor robustez en todos los órganos del tren alternativo (émbolos, bielas, cigüeñal...). También por la parte de la culata necesita soluciones que sean muy efectivas para evitar toda posible fuga que las altas presiones puedan ocasionar. Así tanto las válvulas como la misma culata están fabricadas con la mayor precisión para que puedan cumplir con su objetivo.

Esto hace que los motores Diesel estén exentos de averías durante muchos más kilómetros que los motores de gasolina. Además éstos son evidentemente más complicados en lo que respecta a la parte eléctrica del encendido, a la disposición de las válvulas buscando cámara antidetonantes de tipo hemiesférico y hasta incluso en lo que respecta a la corrección de la mezcla procedente del carburador. El motor Diesel resulta más simple y, en general y como decimos, la experiencia demuestra que sus averías son menores a las que el motor de gasolina presenta. De hecho puede afirmarse que la duración de un motor Diesel puede llegar a ser doble a la duración natural de un motor de gasolina. De todos modos a esta afirmación no es ajena la condición del buen trato recibido ya que el Diesel es, por otra parte, mucho más exigente a la hora de reclamar las atenciones de mantenimiento precisas que el propio motor de gasolina.

Un motor Diesel bien entretenido y cuidado puede girar durante horas y horas sin muestras de cansancio y con gran fiabilidad. El hecho de que su velocidad de régimen resulta francamente moderada si la comparamos con la velocidad de giro a que suelen ir los motores de gasolina ya es una gran garantía al respecto. En la figura 6 tenemos la gráfica que determina la potencia y el par motor del Diesel XUD-9 fabricado por PEUGEOT para ser montado en diferentes modelos de automóviles. Se trata de las curvas características de este motor de 1.905 cm^3. Como puede verse, la línea de par alcanza su punto máximo a 2.000 r/min en donde, por otra parte, el motor ya ha alcanzado los 34 CV, es decir más de la mitad de su potencia, y en quinta velocidad, montado en el modelo *Horizon* de TALBOT ya mantiene el coche a 70 km/h. Entre 2.000 y 3.000 r/min el motor mantiene un buen par y una buena potencia y permite las velocidades de crucero más aconsejables para una economía

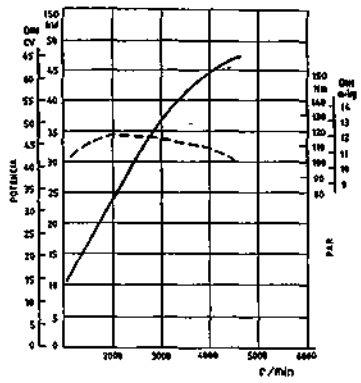


Figura 6. Curvas características del motor Diesel XUD 9 que vimos en la figura 4 anterior.

de consumo máxima. En las mismas condiciones, un motor de gasolina tendría que estar girando entre 3.500 a 4.500 r/min lo que significa en general mayor desgaste, mayor posibilidad de desajuste y menor fiabilidad ante la mayor posibilidad de avería.

Decididamente, en el aspecto de la fiabilidad se le tiene que dar ventaja al Diesel, por lo menos mientras se mantengan dentro de los regímenes de giro de las 4.000 a 4.500 r/min como máximo.

Ruido

Uno de los defectos en los que se ha distinguido el motor Diesel es en la producción de ruidos que son consecuencia de los altos valores de trabajo derivados de su ciclo. Durante muchos años el motor Diesel no ha podido eliminar un cierto golpeteo incómodo así como una mayor susceptibilidad a las vibraciones que resulta especialmente notable cuando el motor no está todavía muy caliente. En líneas generales este motor es siempre muy ruidoso si lo comparamos con el motor de gasolina lo que, según la opinión de muchos ingenieros, ha sido la causa principal de la dificultad que ha tenido durante años en conquistar el mundo del automóvil. En efecto: el propietario de un automóvil le pide a éste muchas cualidades y no es la menor la de que sea lo más silencioso posible.

Hasta hace muy pocos años no ha conseguido reducir su índice de ruido de una manera que adquiera cierta efectividad. Acompañado de severos sistemas de insonorización montados en el propio cofre donde se ubica, el motor

Diesel está ahora en condiciones de mostrarse más «civilizado» en este sentido y aunque no consigue, por supuesto, aquellos índices de baja rumurosidad que son propios de algunos motores de explosión en los que, durante la marcha, se oye más el ruido del aire al rozar sobre la carrocería que el ruido del motor, puede decirse que el Diesel está ahora en condiciones de no resultar del todo incómodo durante un largo viaje.

La insonorización incrementa el precio de adquisición del vehículo Diesel, pero del precio nos ocuparemos más adelante.

Fuerza

El motor Diesel posee una cualidad que sorprende siempre al conductor que por primera vez se enfrenta a él y está acostumbrado a conducir con motor de gasolina. Da la impresión de tener más fuerza. Sobre todo cuando el conductor está acostumbrado a no subir con asiduidad a los altos regímenes de giró del motor de gasolina y se mantiene, por costumbre o por conseguir una conducción más económica, en las zonas media y baja del cuentarrevoluciones. Conduciendo con un sistema similar en el vehículo equipado con motor Diesel éste suele dar la impresión de que es más potente porque requiere un uso menos frecuente de los cambios de velocidad y en marchas largas se recupera con una sensación de fuerza muy convincente.

En realidad, lo que ocurre es que el motor Diesel tiene mayor par, a igualdad de potencia que el motor de gasolina.

Por si hay alguna duda al respecto creemos necesario aclarar lo que se entiende por par motor, explicado con muy pocas palabras y la ayuda de la figura 7. Como ya sabemos, durante el tiempo de expansión, el combustible quemado ejerce su *presión* sobre la superficie del émbolo. Así pues, la *fuerza* transmitida será igual a

Presión del gas × superficie del émbolo

Esta fuerza se ejerce, como es sabido, sobre una biela que actúa sobre un eje cigüeñal que es giratorio. Así pues, la fuerza de la biela se transforma en par, o sea en rotación de un árbol.

El *par motor* es pues, el resultado de:

Fuerza × radio de rotación

El par producido por un motor aumenta a determinados regímenes de giro pero en otros puede disminuir y en general, en los motores de combustión interna ocurre siempre que el par disminuye a partir de cierto número de r/min aún cuando la potencia del motor aumente. Esta característica del par, que es precisamente la que determina la necesidad de todo vehículo de poseer cambios de desmultiplicaciones (cambios de velocidades y otras relaciones entre engranajes) determina la fuerza de tracción disponible en las ruedas.

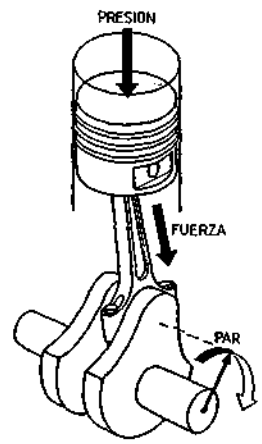


Figura 7. El par motor es el resultado de la fuerza relacionada con el radio de rotación.

Pues bien: A igualdad de potencia (es decir, comparando motores de gasolina y Diesel que tengan igual potencia aunque diferente cilindrada) el motor Diesel tiene un par motor más elevado, y a más bajas vueltas. Los ejemplos son innumetables. Vamos a poner uno solo que sirva de orientación: El motor Diesel XUD-9 de PEUGEOT tiene su par máximo a 12,13 mkg (o a 119 Nm que es una cantidad equivalente, tal como podemos apreciar consultando sus curvas características que presentamos en la figura 6). Este valor lo consigue a 2.000 r/min. Cualquier motor tomado al azar de una potencia semejante que, como sabemos es de 65 CV, nos ofrece resultados del orden de los 9,38 mkg. a 10,50 mkg. cuando se trata de motores de gasolina, y todos estos a un número de r/min que oscila entre las 3.000 a las 3.250. (Se han consultado los datos de los motores del RENAULT *5 TX*, del SEAT *Ronda 65*, del FORD *Fiesta S-1.300* etcétera).

Esta rápida presencia de un par motor vigoroso a muy pocas vueltas es la responsable de la sensación de fuerza que se percibe cuando se trata de conducir un Diesel, y no solamente en motores de igual potencia sino incluso comparando motores de gasolina de mayor potencia con motores Diesel más discretos, y ambos montados en los mismos tipos de carrocería, se tiene esta impresión porque el par motor aparece a más bajas vueltas. Esto, como decimos, impresiona mucho sobre todo a los conductores que apuran mucho las marchas y se han acostumbrado a conducir con el motor siempre en regímenes bajos de giro en el motor de explosión.

Precio de adquisición

Se ha dicho hace muy poco que el motor Diesel es muy robusto y que por ello dura más que el motor de gasolina y es, en definitiva, más fiable. A esta buena condición del motor Diesel no es ajeno, sin embargo, el inconveniente de que este motor resulta más caro de adquisición que el motor Otto de gasolina. Y no solamente por la robustez que las piezas requieren sino también por la precisión que se exige a todos aquellos elementos que han de trabajar a tan elevadas presiones como ya hemos visto, entre los cuales hemos de destacar no sólo la estanqueidad de émbolos y aros y válvulas en la cámara de combustión sino también la gran precisión a que ha de estar fabricada la bomba de inyección y los inyectores. Por otra parte, los vehículos equipados con motor Diesel deben ser insonorizados especialmente; además han de sufrir algunas modificaciones en el cofre cuando motores generalmente más grandes y por lo tanto más voluminosos y pesados se han de ubicar en el mismo espacio que motores más ligeros de gasolina. Esto significa un reforzamiento de los anclajes y de algunas otras partes de la carrocería que deberá soportar más peso. A todas estas condiciones se une el inconveniente de que, de todos modos, la fabricación en serie de los vehículos automóviles dotados con motor Diesel se realiza en series mucho más reducidas que las que se llevan a cabo en los montajes con motor de gasolina, lo que es un nuevo factor a añadir para justificar su mayor precio.

En líneas muy generales, y con toda la imprecisión que puede tener una afirmación de este tipo que depende de muchos factores que deben entrar en juego en esta comparación, se puede establecer que los automóviles dotados de motor Diesel, de iguales modelos y de potencias máximas siempre favorables a los motores de gasolina, vienen a ofertarse al mercado con valores que oscilan entre un 12 a un 20 % más caros, refiriéndose siempre a motores de tipo atmosférico. Cuando se trata de motores Diesel sobrealimentados el aumento del precio de adquisición resulta como mínimo de un 20 a un 22 % y en algunos casos se sobrepasa el 25 %.

Este sobreprecio que soporta el automóvil dotado de motor Diesel tiene su buena importancia a la hora de considerar la rentabilidad y amortización del vehículo. Piénsese que valores de un 14 %, por ejemplo, significan 140.000 pts. más por millón y con estas cifras se pueden comprar muchos litros de gasolina. Ocurre muchas veces que para amortizar la diferencia es preciso realizar bastantes miles de kilómetros antes de empezar a saborear los frutos de la economía del Diesel en el consumo, situación que puede producirse entre los 40.000 a los 80.000 kms. recorridos en según los casos y siempre refiriéndonos exclusivamente al ahorro en el consumo y teniendo en cuenta que el valor del gasóleo sea de un 45 % inferior al de la gasolina.

Con todo, no hay ninguna duda de que aquellas personas que necesitan el automóvil para sus constantes desplazamientos en el trabajo y que realizan muchos kilómetros al cabo del año, tal como puede ocurrir a un taxista o a un viajante o representante de comercio, el Diesel se amortiza con facilidad y significa un ahorro muy importante a partir del momento en que el sobreprecio de adquisición queda superado. No ocurre lo mismo, sin embargo, con quien utiliza el automóvil por placer los fines de semana o durante las vacaciones con lo que al cabo del año consigue cifras de kilometraje muy modestas comparadas con los profesionales que se han dicho. En este caso el motor de explosión sigue siendo ventajoso pese a su mayor consumo.

Contaminación atmosférica

Cuando hemos estudiado las características técnicas que definen el ciclo Diesel hemos visto que este motor trabaja con plenitud de llenado del cilindro por medio de aire. La inyección del combustible viene regulada por un sistema que ya estudiaremos, pero que inyecta mayor o menor cantidad de gasóleo según las necesidades que el conductor crea convenientes. Esto quiere decir que tanto a pequeña cantidad de combustible inyectado como a gran cantidad de la misma el aire que existe en el interior del cilindro es siempre el mismo. Esta facultad hace que el motor Diesel trabaje siempre con exceso de aire, o lo que es igual, con exceso de oxígeno, de modo que la combustión puede ser siempre más completa de lo que ocurre en el motor de gasolina en el que el aire está unido a ella y guarda una proporción siempre precaria para que pueda realizarse una combustión total del combustible admitido.

En la práctica esta condición se pone de manifiesto fácilmente por los análisis de los gases de escape que apenas contienen el más venenoso de los gases procedentes de la reacción química de la combustión: el monóxido de carbono. En cuanto a otros gases no menos perniciosos como el plomo que se adiciona a la gasolina durante su elaboración para aumentar su poder antidetonante (su número de octanos) no se halla presente en el gasóleo de modo que este combustible en sí es más «sano» que el utilizado por los motores de explosión, en lo que a aditivos nocivos se refiere.

Sin embargo, el gasóleo es mucho más humeante que la gasolina y esto provoca algunos inconvenientes que en muchas legislaciones se ha tratado de regular. Pero en lo que respecta a la contaminación atmosférica no tiene los resultados nocivos que presenta la combustión incompleta siempre del motor de explosión. Aquí hay ventaja para el motor Diesel.

Riesgo de incendio

En los motores de gasolina se da la posibilidad del incendio por la fácil inflamación a que la gasolina se ve abocada debido a su volatilidad que hace que pueda inflamarse a temperatura ambiente. Si a ello se une la posibilidad de saltos de chispas eléctricas en el compartimiento del motor se verá que el riesgo de incendio es más probable de lo que muchos conductores suponen, y de hecho se producen accidentes de este tipo con una relativa frecuencia. El gasóleo resulta mucho menos volátil que la gasolina, y sus vapores necesitan alcanzar por lo menos los 80 °C para hablar de inflamación. Por otra parte,

lo reducido de su instalación eléctrica también dificulta esta posibilidad de incendio. En este sentido, las ventajas son decididamente favorables al motor Diesel.

El motor Diesel en el automóvil

Durante muchos años el motor Diesel fue el tradicional motor de grandes dimensiones que servía, en el terreno de la automoción, para arrastrar las grandes y pesadas moles de los camiones. Estaba presente pues, en aquellos lugares en los que se necesitaban grandes potencias para arrastrar cargas, sin demasiada preocupación por la velocidad y la aceleración pero sí, y de una forma muy acentuada, por la economía de consumo y por la duración y fiabilidad del transporte. En este terreno el motor Diesel ha obtenido triunfos indiscutibles y universales de los que no vamos a ocuparnos aquí ya que otro tomo de esta misma Enciclopedia lo hace con profusión, y también de las aplicaciones marinas de este mismo motor, otro de los sectores en que es el rey indiscutible. Pero en el mundo del automóvil, por todas las razones que acabamos de revisar, se ha mostrado siempre mucho más exigente y los ingenieros que dedican sus horas de trabajo al proyecto de motores Diesel han tenido que plantearse el problema desde otros puntos de vista cuando se ha tratado de diseñar un motor que pudiera competir con el motor de gasolina, ya que, como se ha visto, la economía de consumo con ser muy importante no lo es todo.

En cuanto las grandes fábricas, dotadas de grandes recursos, quisieron ofertar un nuevo producto al modo que lo hacían la *Daimler-Benz* y la PEUGEOT, y pusieron en marcha todo el aparato de sus secciones técnicas, empezaron a salir productos de las más variadas concepciones técnicas, todas ellas con el objetivo de lograr motores que fueran comparables de alguna manera con los motores de gasolina existentes. De ellos vamos a ocuparnos dentro de muy poco.

Por ahora digamos que el motor clásico del ciclo Diesel para automóvil es de cuatro cilindros, de unas cilindradas que van normalmente entre 1.600 a 2.400 cm^3 para los automóviles medios y sólo en el caso de automóviles mayores se escalan mayores cilindradas. En el caso de los automóviles estadounidenses se llega a valores de casi los 6 litros con grandes motores de 8 cilindros en V que superan los 100 CV. En el caso de los automóviles europeos, y muchos japoneses, los formatos se mueven por lo dicho antes.

En la figura 8 puede ver el lector el corte realizado en un motor Diesel bastante clásico y de una fiabilidad muy probada. Se trata de dos vistas del motor MERCEDES BENZ, modelo OM 616, con una cilindrada de 2.399 cm^3 que alcanza los 72 CV a 4.400 r/min. En el pie que acompaña a esta figura se relacionan todos los elementos de que consta y que pueden compararse con los elementos similares que posee el motor de explosión en general. Para el mecánico acostumbrado al motor Otto la arquitectura general del motor ha de resultarle familiar salvando parte de la inyección que está encomendada

a la bomba de inyección (33) y al inyector (6) como máximo representante del sistema en la cámara de combustión (29). La bujía de precalentamiento que vemos en esta misma cámara, marcada con el número 30, solamente se prende antes de la puesta en marcha cuando el motor está frío y sirve para colaborar a elevar la temperatura del aire y de la cámara en un momento inmediatamente anterior al arranque.

Este modelo de motor MERCEDES lo utiliza esta factoría para varios usos además de que sirva la planta motriz para el automóvil modelo *240 D*.

En cuanto a los motores más pequeños de esta gama dedicada a los automóviles medios y correspondiente a esta misma marca MERCEDES tenemos en la figura 9 el modelo OM 601 del que se muestra el aspecto exterior. Se trata de un motor construido para el automóvil de la misma marca modelo *190 D*, que con sus 1.997 cm^3 alcanza una potencia de 72 CV a 4.600 r/min y hace de este modelo de automóvil, el *190 D*, un vehículo bastante más rápido y económico que el *240 D* por el menor peso general atendido por igual potencia.

Todas las marcas han ido ideando sus motores Diesel para automóvil. En la pasada figura 4 ya vimos la solución PEUGEOT para muchos de los vehículos fabricados por TALBOT y CITROEN con un motor de 1.905 cm^3 del cual ya hemos comentado sus características en otro lugar. Otras marcas tradicionalmente ajenas al motor Diesel como la OPEL han trabajado sin embargo en diseños de este tipo con bastante éxito. En la figura 10 se muestra la parte superior de un motor Diesel que equipa a los *Kadett*. Se trata de un motor de 138 kg de 1.598 cm^3 que proporciona una potencia de 54 CV a 4.600 r/min. Este motor tiene la particularidad de que se deriva de un diseño de gasolina que ha sido adaptado al ciclo Diesel. La utilización de piezas comunes consigue abaratar el precio de venta de este motor. Esta técnica ha sido seguida también por otras factorías importantes.

Con la misma filosofía que OPEL, e incluso anteriormente a ella, la FIAT ha trabajado también con sus motores Diesel para automóvil en una gama bastante extensa de cilindradas. En la figura 11 presentamos el más pequeño de sus motores ideado para el modelo *127* de la marca. Tiene una cilindrada de 1.301 cm^3 y desarrolla una potencia de 45 CV a las 5.000 r/min. En el corte interno realizado en el dibujo para mostrar la parte interior del motor se aprecian los elementos que lo componen con una evidente arquitectura que lleva el marchamo de la FIAT, que se pone todavía más de manifiesto por el aprovechamiento de piezas procedentes de los motores gemelos de gasolina y también, por supuesto, de las condiciones de que disponen las máquinas transfer que trabajan en las series de motores de gasolina.

En la figura 12 se muestra al lector el aspecto exterior de este mismo motor que hemos visto radiografiado en el dibujo y que da un peso de 115 kg sin aceite ni líquido de refrigeración, peso que se aproxima en mucho al que es propio de un motor de gasolina de la misma cilindrada. En la figura 13 se puede ver el montaje de este motor en el tren delantero del automóvil FIAT citado. Sus fabricantes anuncian un consumo de 5,10 litros de gasóleo a los 100 kms. a una velocidad de 90 km/h y le aseguran una velocidad punta

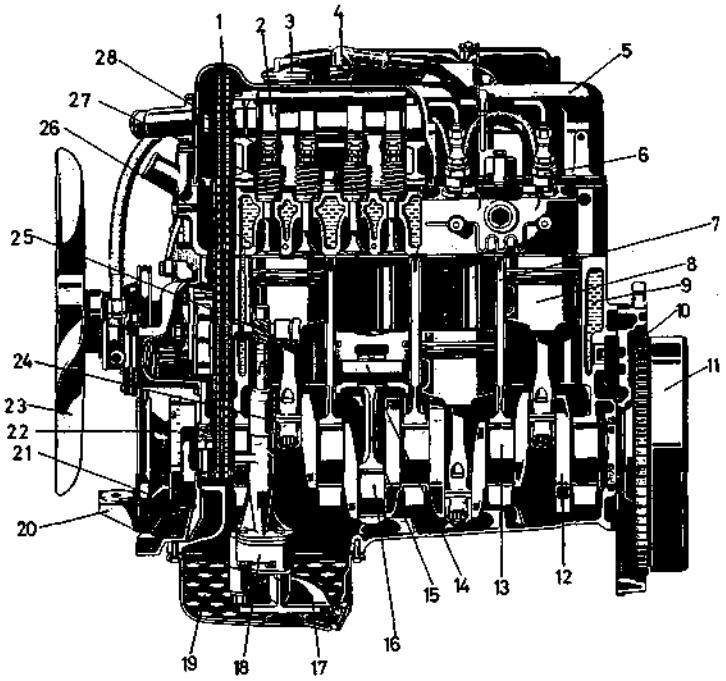
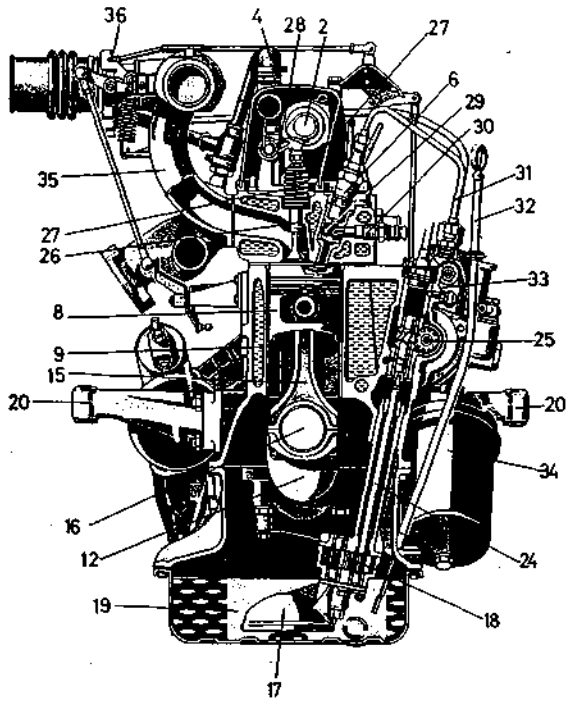


Figura 8. Motor Diesel de la marca MERCEDES-BENZ, modelo OM 616. 1. cadena de distribución; 2. eje de levas. 3. tapón de la tapa de balancines. 4. conducto de aireación. 5. tapa de balancines. 6. inyector. 7. paredes de los cilindros. 8. émbolo. 9. cámara de refrigeración del bloque. 10. corona dentada del volante. 11. volante. 12. contrapeso del cigüeñal. 13. cuello del cigüeñal. 14. bulón. 15. biela. 16. muñequilla del cigüeñal. 17. prefiltro de aceite. 18. bomba de aceite. 19. aceite en el cárter. 20. puntos de anclaje. 21. polea del cigüeñal. 22.



marcas de puesta a punto. 23, ventilador. 24, eje de accionamiento de la bomba de aceite. 25, piñón de accionamiento. 26, válvula. 27, muelle de válvula. 28, semibalancín. 29, antecámara de combustión. 30, bujía de precalentamiento. 31, tubo de impulsión. 32, medidor nivel de aceite. 33, bomba de inyección. 34, filtro de aceite. 35, conducto de admisión. 36, difusor del regulador neumático.

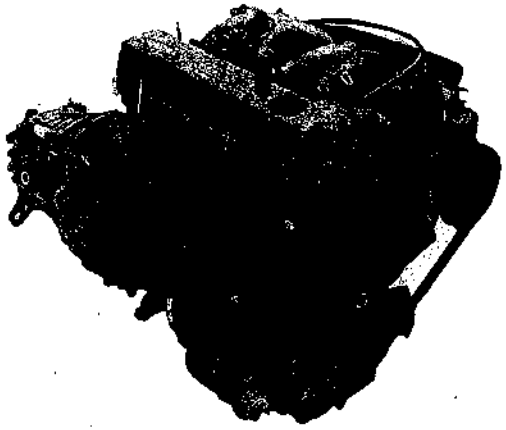


Figura 9. Aspecto exterior del motor MERCEDES BENZ, modelo OM 601.

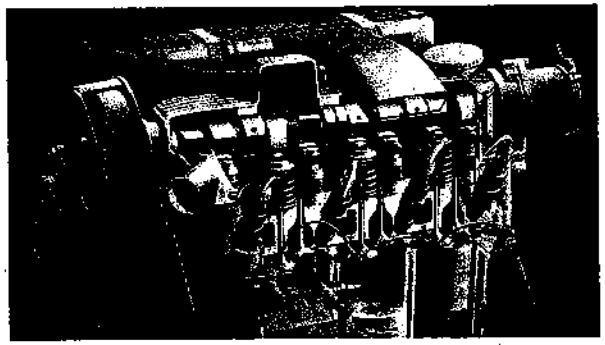


Figura 10. Vista de la parte superior de un motor Diesel de la OPEL, de una cilindrada de 1.598 cm^3.

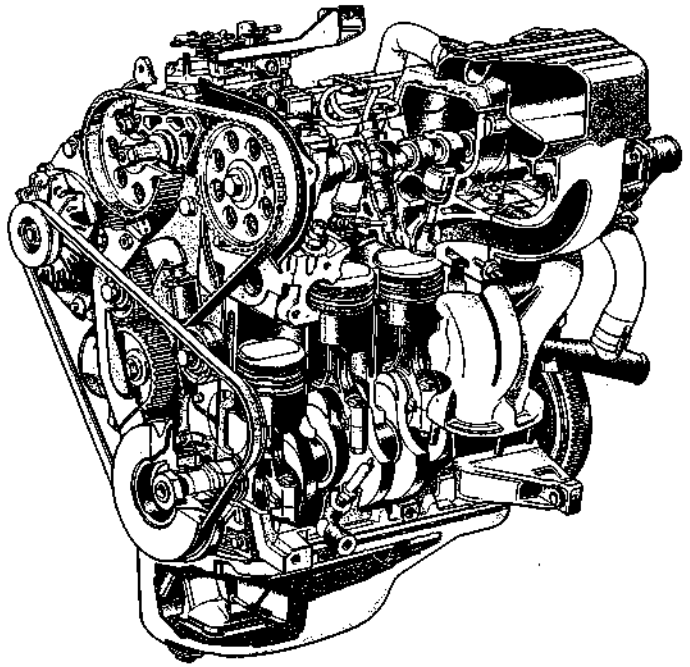


Figura 11. Vista seccionada de un motor Diesel FIAT construido para equipar a los pequeños modelos de la marca. Se trata de un motor con cilindrada de 1.301 cm^3.

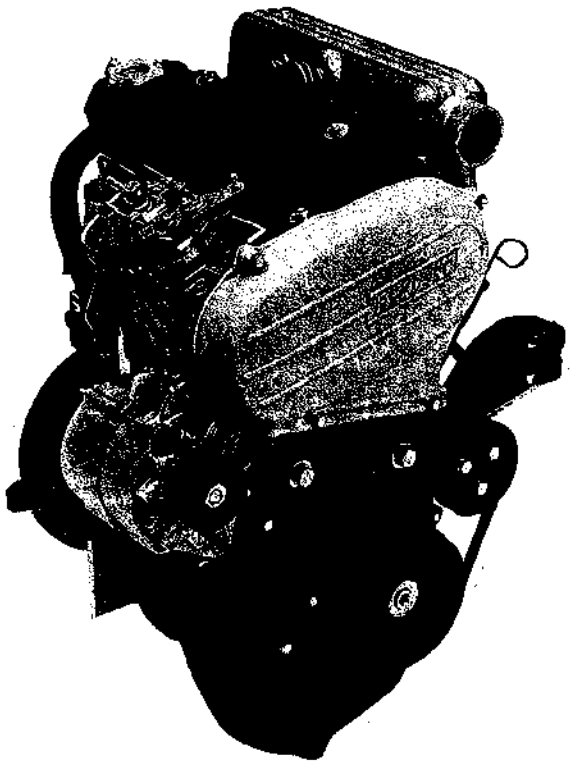


Figura 12. Aspecto exterior del motor de la figura anterior.

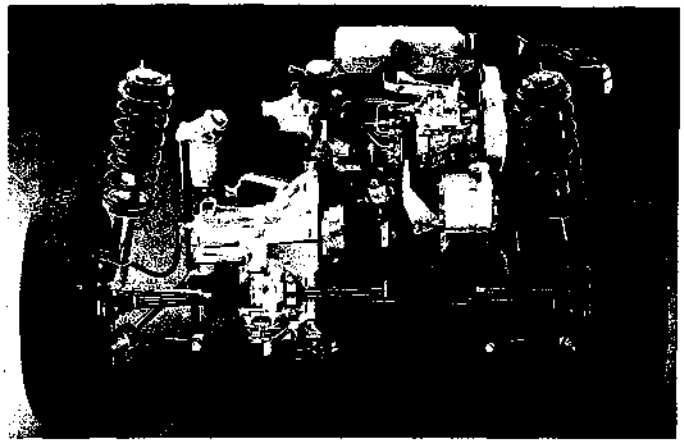


Figura 13. Aquí puede verse el montaje transversal del motor FIAT de la figura anterior. Obsérvese como la disposición es semejante a la utilizada en los motores de gasolina.

de 130 km/h. Como puede verse, todas estas prestaciones no son disonantes con lo que el motor de gasolina nos tiene acostumbrados.

Por supuesto se pueden fabricar todavía motores más pequeños, del ciclo Diesel, para las propulsiones de vehículos automóviles. De este tipo es el motor japonés de la marca DAIHATSU que vemos en la figura 14 y que tiene una cilindrada de 857 cm^3. Con esta pequeña cilindrada repartida en sólo tres cilindros, alcanza casi los 37 CV a 4.600 r/min y aplicado a sus modelos *Cuore*, pequeño automóvil concebido para ciudad, se obtienen resultados de consumo asombrosos.

Motores sobrealimentados

Cuando el motor Diesel quiere aproximarse lo más posible al motor de gasolina tiene a su alcance una solución cara pero bastante efectiva. Consiste en acudir a sobrealimentar el motor, y especialmente con la ayuda de un turbocompresor. Aunque ya nos ocuparemos de este tema más adelante con la extensión debida, digamos solamente como una idea fundamental y primaria que la potencia de un motor está, dentro de determinados límites, en la can-

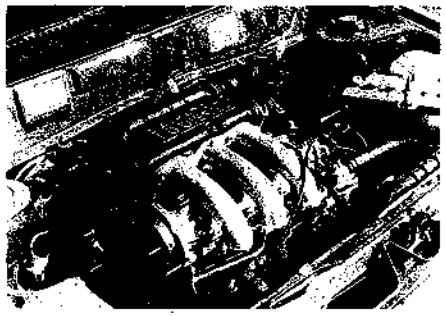


Figura 14. Uno de los más pequeños motores Diesel dedicado a la automoción es este DAIHATSU de tres cilindros y 857 cm³ que aquí vemos montado en el cofre de un automóvil de esta marca.

tidad de combustible que es capaz de quemar en el menor tiempo posible. Así pues, incrementar la cantidad de aire que ocupa el cilindro significa mayor posibilidad de obtener más potencia por mayor cantidad de combustible quemado. De ello se deduce que la sobrealimentación será la posibilidad de mandar al interior del cilindro una sobredosis de aire, o dicho más técnicamente, aire a una presión superior a la presión atmosférica.

En la figura 15 tenemos las curvas de potencia de un motor sobrealimentado en comparación con la curva del mismo motor pero con aspiración atmosférica. Se trata de las curvas pertenecientes al motor Diesel de RENAULT de 2.068 cm³. Rápidamente puede verse hasta qué punto la potencia queda incrementada en todos los regímenes de giro del motor, pero especialmente a las 4.000 r/min en las que el motor atmosférico aporta unos 62 CV mientras el turboalimentado llega a los 85 CV.

Pero esta ventaja se acrecienta de una manera muy interesante en los valores alcanzados por el par motor cuyas curvas comparativas se pueden ver en la figura 16. Aquí se observa como, entre 2.000 a 3.000 r/min hay valores espectacularmente altos a favor del motor sobrealimentado. Mientras el motor atmosférico alcanza unos 12,6 mkg alrededor de las 2.500 r/min puede verse como el otro motor está en valores de 18,6 mkg a unas 2.200 r/min.

Un motor de este tipo, y de poco más de dos litros de cilindrada, no puede decepcionar en modo alguno a un conductor de turismos acostumbrado a los motores de gasolina de buenas respuestas tradicionales. En todo caso ha de quedar sorprendido por el elevado par motor que aparece a un reducido número de vueltas.

El reto que tienen los ingenieros que trabajan en este tipo de motores Diesel consiste en aumentar las potencias y reducir los pesos de estos motores para poder equipararlos del todo al motor de explosión. Para ello se debe contar con las ventajas que los turbocompresores aportan, mediante los cuales

se puede reducir el tamaño y la cilindrada de los motores. En la figura 17 se aprecia la constitución interior de un motor experimental de 1.360 cm³ que alcanza 62 CV a 4.500 r/min y tiene un peso de masa de 120 kg. Este motor Diesel sobrealimentado parte de la estructura del motor de gasolina de la misma cilindrada que equipa a los modelos *Samba*, y si se le observa atentamente se verá como, en efecto, conserva muchos detalles que son típicos de las estructuras de los motores de explosión. La colocación del cambio en la parte baja, la inclinación del motor, la disposición del árbol de levas accionando directamente sobre los alzaválvulas, etcétera, son disposiciones típicas de los motores ligeros de gasolina.

En todo caso, la sobrealimentación por medio de un turbocompresor presenta el inconveniente de encarecer bastante el precio del producto, problema que ya hemos comentado en su momento y que afecta a producir más largos plazos de amortización del vehículo equipado con este tipo de motores Diesel. Sin embargo, si los fabricantes pudieran resolver el problema del costo por el aumento de las series en la fabricación de los turbocompresores y los diseños de los motores Diesel pudieran tener muchas piezas comunes con respecto a sus hermanos de gasolina es evidente que podrían reducirse en mucho las distancias a este respecto. El porvenir del motor Diesel en el automóvil no es, por lo tanto, nada problemático sobre todo si el precio de su combustible se mantiene en las diferencias de entre un 40 a un 50% con respecto al precio de la gasolina.

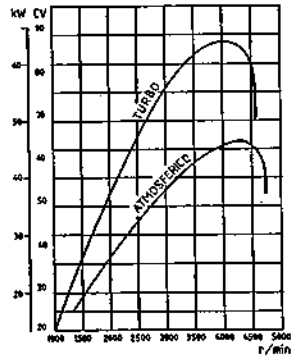


Figura 15. Curvas comparativas de las potencias obtenidas con un motor Diesel de la misma cilindrada e igual modelo en las versiones sobrealimentada y atmosférica.

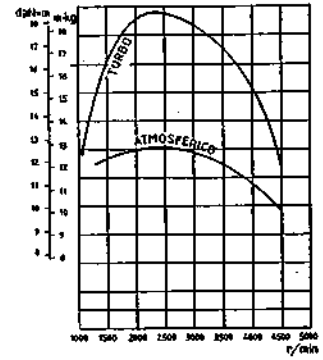


Figura 16. Curvas comparativas del par motor del mismo motor representado en la figura anterior en las dos versiones de alimentación.

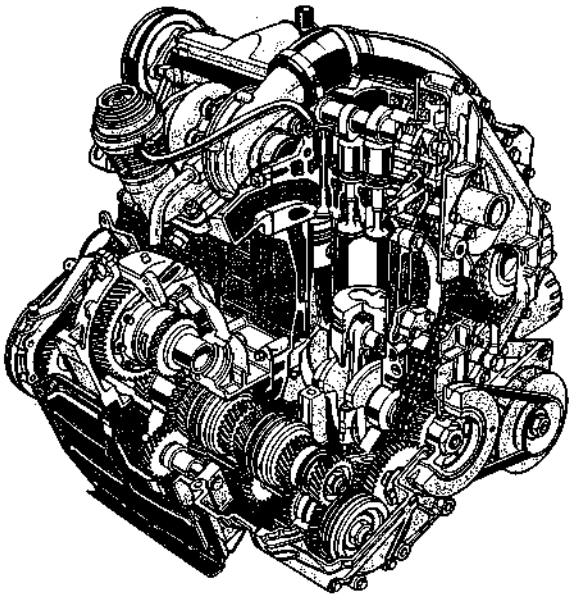


Figura 17. Vista general del conjunto propulsor Diesel estudiado por PEUGEOT para los automóviles de su grupo. Se trata de un motor sobrealimentado por turbocompresor.

Futuro del motor Diesel en el automóvil

Desde un punto de vista tecnológico el motor Diesel para aplicación al automóvil todavía tiene muchos recursos sobre los que se puede investigar y mediante los cuales se puedan mejorar sus prestaciones, hasta un punto tal, que pueda llegar a parangonarse con el motor de gasolina en aquellas virtudes en que éste es, por hoy, superior. Entonces podrá dejar bien claras sus virtudes fundamentales que están en su mayor rendimiento, lo que se traduce en su menor consumo. (Por supuesto de la diferencia de precio del gasóleo con respecto a la gasolina hay que desconfiar pues es muy claro que si el consumo de gasolina baja y aumenta el del gasóleo la Administración, que encuentra en estos productos una interesante fuente de financiación, aumentará los precios hasta equipararlos). Entre los avances tecnológicos de los que el motor Diesel puede beneficiarse se encuentra, por ejemplo, la Electrónica. En efecto, al igual que ocurre con la inyección electrónica de gasolina que muchos motores de este tipo utilizan y optimizan por medio de un microordenador para decidir la cantidad y el momento en que debe inyectarse la gasolina, de acuerdo con parámetros que recogen unos sensores, también la inyección del gasóleo puede estar regida electrónicamente en los reguladores de las bombas de inyección y obtener avances más precisos así como mayor exactitud en la cantidad de combustible que el motor precisa según las circunstancias de su variado funcionamiento.

Otro terreno en el que todavía hay mucho que estudiar tratándose de motores Diesel ligeros y de las condiciones de aceleración y comportamiento de un automóvil en la carretera o en el tráfico ciudadano se encuentra en el propio terreno de la sobrealimentación. Aunque en el motor Diesel esta técnica no presenta los complicados problemas que presenta en el motor de gasolina, la realidad es que falta experiencia en este terreno pues la tradición de los motores Diesel para autocamiones, que desde antiguo han sido sobrealimentados, no puede aplicarse directamente sobre los motores ligeros sin perder oportunidades de su mejor aprovechamiento. En este aspecto queda pendiente la utilización de la sobrealimentación a altas presiones lo que podría significar una considerable reducción del peso del motor con respecto a su potencia y todo ello con menores consumos específicos; también puede ser un camino la investigación con otro tipo de compresores tales como el tipo Comprex en sustitución del turbocompresor; el estudio muy preciso de los momentos en que resulta más favorable la sobrealimentación para la obtención de un par máximo con una curva muy plana, etcétera.

También parece que en otros terrenos el motor Diesel para automóvil podría mejorar sus prestaciones con la adopción de la inyección directa en vez de la utilización del sistema de precámara de combustión de tipo Ricardo que es el más utilizado en todos los motores ligeros actuales. Este sistema, y el de inyección directa, serán estudiados con la debida atención en el capítulo 4 próximo.

Por último, también queda mucho que hacer en el problema del aligeramiento de masas en los motores Diesel actuales, sobre todo en aquellos que parten de diseños específicos. Si bien es verdad que en aquellos diseños que parten de la filosofía de aprovechamiento de la mayor parte posible de piezas de motores de gasolina ya se observa esta intención de aligeramiento de masas en general —y de hecho los pesos que se han dado en los ejemplos de este tipo que hemos visto con anterioridad así lo confirman— la realidad es que todavía queda bastante que hacer en este terreno. Cierto que con ello el motor Diesel puede perder parte de su fama de motor robusto e, incluso, de su tradicional fiabilidad, pero a la contra puede abaratar su precio y mantener sus condiciones de alto rendimiento además de prestaciones muy cercanas a las obtenidas por los motores de gasolina.

A todas estas experimentaciones pueden unirse perfectamente las que se están llevando a cabo también para el motor de gasolina. La lucha por reducir

las superficies en frotamiento (motores supercuadrados, émbolos de falda corta, etc.); el estudio de cámaras de combustión de geometría variable, el avance automático de la distribución según el régimen de giro, la aplicación masiva de la electrónica para el control de los automatismos del motor, etcétera, son facetas de investigación técnica a las que el motor Diesel no tiene porque ser ajeno.

El porvenir del motor Diesel ligero para automóvil es por lo menos tan esperanzador como el del motor de gasolina. En cuanto a su mercado es enorme si se lograra abaratar un poco su precio ya que su ahorro en el tráfico urbano es muy sustancioso a igualdad de comodidad, velocidad de promedio y servicio que el proporcionado por el motor de gasolina, con la ventaja adicional de lanzar a la atmósfera unos gases menos contaminantes y venenosos.

Supuestas estas condiciones, todos los mecánicos conocedores del motor de gasolina, deben prepararse para familiarizarse con estos motores Diesel ligeros que cada vez más irán llegando a sus talleres. La información sobre las diferencias que va a encontrar al desmontarlo es el objeto fundamental de este libro. Vayamos pues, a ello en los próximos capítulos.

3

ESTRUCTURA DEL MOTOR DIESEL

Toda persona dedicada al automóvil, ya sea por profesión o por afición, ha tenido su primer contacto con estos vehículos a través de los motores de chispa o de explosión. Se supone por lo tanto un conocimiento, aunque sólo sea general, de este tipo de motores, y estos conocimientos previos nos van a servir de base para hacerle al lector la descripción de los motores Diesel ligeros. Nuestro plan está pues, en estudiar el conjunto del motor Diesel, pero poniendo especial interés en aquellas de sus partes que lo diferencian del motor de gasolina. Incluso cuando más adelante hablemos de las operaciones de reparación tendremos siempre tendencia a referirnos preferentemente a aquellas partes en las que el Diesel presenta diferencias significativas con respecto al otro motor y así no ha de sorprender la importancia que en el conjunto del libro se da al sistema de inyección, ya que es una de las partes típicamente Diesel que quien quiera dominar la técnica de este motor tendrá que conocer con cierta profundidad. Ello, por poner un ejemplo.

En el presente capítulo vamos a hacer el estudio del motor Diesel desde un punto de vista práctico en contraposición a los estudios teóricos realizados hasta ahora. Vamos a descomponer las partes de que consta con pequeños y breves comentarios adicionales sobre las diferencias que existen entre estas partes y las mismas correspondientes a los motores de gasolina y, de acuerdo con lo anunciado, vamos a extendernos más en los puntos en que las diferencias sean más acusadas entre ambos motores, o en los que la forma de trabajar de los mecánicos establezca también sus diferencias sustanciales.

Por último es importante también que para aquellos lectores que tengan unos conocimientos muy precarios sobre lo que es el motor de gasolina, y dado que estos conocimientos se complementan con lo que explicamos en este libro, se les recomiende el estudio previo del tomo de esta Enciclopedia dedicado exclusivamente a este tema. Nos referimos al tomo titulado *El Motor de Gasolina* que estudia de una forma práctica el trabajo de la mecánica en este mismo motor.

A continuación, y después de este breve preámbulo que nos sirve para situarnos, pasemos al estudio de la estructura del motor Diesel en sus realizaciones para automóvil exclusivamente.

Disposición del motor Diesel en el automóvil

Por todas las características que han quedado claras en el anterior capítulo podemos ver que se da la circunstancia de que todavía no se ha fabricado un automóvil de turismo con el claro objetivo de que vaya equipado con motor Diesel. La realidad es que en las producciones modernas y en los automóviles de gran venta, nacen primero pensados para que su planta de tracción sea un motor de gasolina y después, si el modelo tiene éxito y se vende bien, las secciones técnicas de las grandes fábricas pasan a trabajar en el acoplamiento de un motor Diesel o, incluso, a proyectar un motor Diesel ligero aprovechando al máximo elementos del motor de gasolina. Todo esto ya lo vimos en su momento.

Pues bien: Dada esta circunstancia que acabamos de considerar, los motores Diesel adoptan la misma disposición que los motores de gasolina en los cofres de los automóviles dedicados a la ubicación del motor. En la figura 1 podemos ver un ejemplo de colocación de un motor Diesel en el que este motor adopta incluso la misma arquitectura que era propia del de gasolina, es decir, se trata de un motor con unos grados de inclinación para que resulte de menor altura y permitir la colocación del cambio de velocidades en la parte más delantera. Este motor es el mismo que vimos en la figura 17 del pasado capítulo 2. También en este mismo capítulo tuvimos ocasión de ver una disposición original en la figura 13 correspondiente a un motor Diesel para un pequeño modelo de la FIAT con el motor colocado transversalmente. En la figura 2, por otra parte, podemos ver la disposición más corriente que consiste en poner el motor en el sentido de la marcha y centrado verticalmente, disposición que es, a su vez, la más corriente en el mismo motor de gasolina para los automóviles grandes. De todos modos hay que resaltar la gran proliferación de automóviles medios en los que el motor Diesel adopta una posición transversal tal como se puede ver también en el cofre de un RENAULT mostrado en la figura 3 y en la disposición general mostrada por la figura 4 en un automóvil de la marca LANCIA. En esta colocación el motor Diesel presenta las mismas ventajas del motor de gasolina cuando adopta la misma disposición, es decir, acortar la longitud del morro en beneficio del mayor espacio

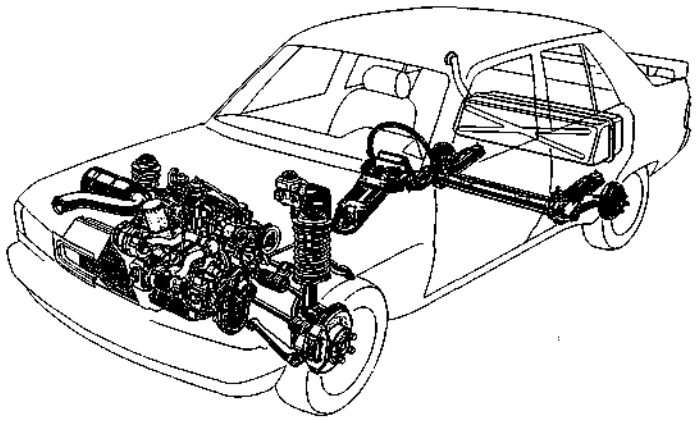


Figura 1. Disposición típica de un motor Diesel en la parte delantera de un automóvil conservando las mismas características en su ubicación que son propias del motor de gasolina.

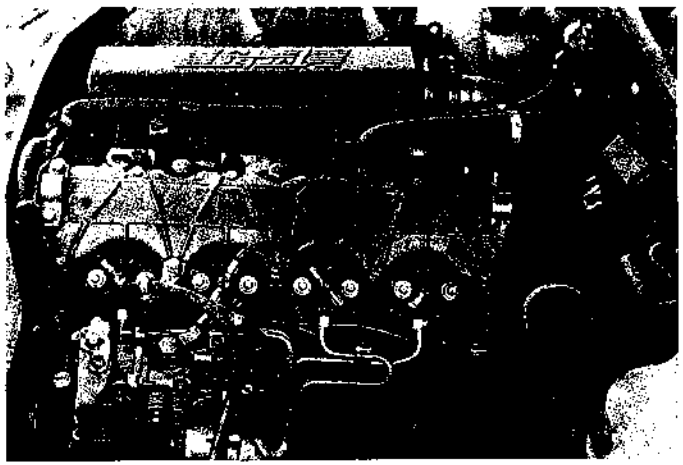


Figura 2. Vista de un motor Diesel RENAULT montado en un modelo *R-18*. Se halla en posición vertical y de frente a la marcha.

Figura 3. Vista de la colocación de un motor RENAULT montado en el cofre delantero de un *R-9*. Como puede verse se encuentra en posición transversal.

para la colocación del habitáculo de los pasajeros aumentando la comodidad de éstos además de una buena adaptación a la tracción delantera.

En el presente estudio vamos a circunscribirnos especialmente al motor ya que, como puede deducirse, los otros órganos del automóvil tales como la transmisión, la suspensión, dirección, ruedas, etc.; son exactamente iguales en la mayoría de los casos (en otros ligeramente reforzadas) a los automóviles de motor de explosión. Así pues, comencemos a ver las diferencias prácticas que distinguen a uno u otro motor en su montaje en los automóviles modernos.

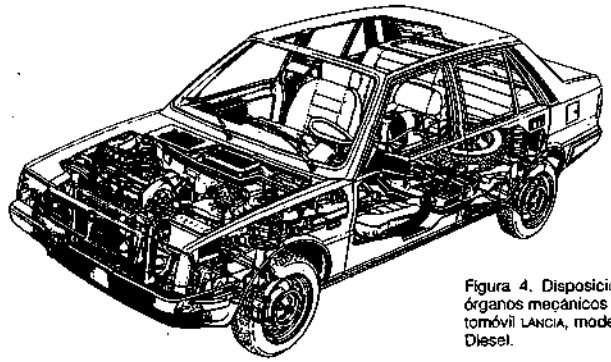


Figura 4. Disposición de los órganos mecánicos de un automóvil LANCIA, modelo *Prisma* Diesel.

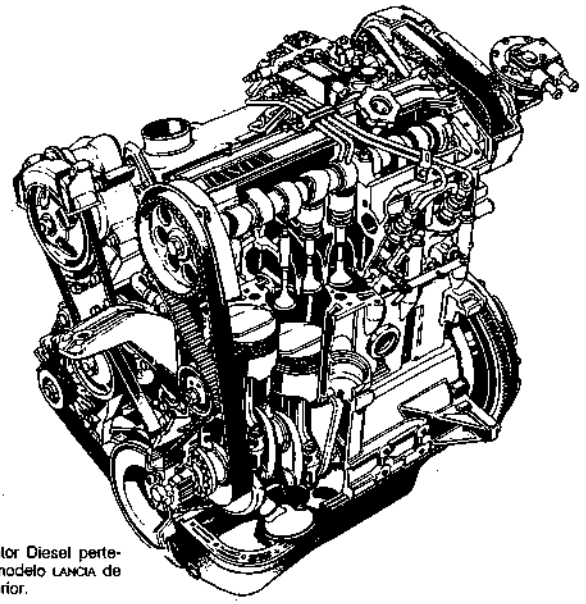


Figura 5. Motor Diesel perteneciente al modelo LANCIA de la figura anterior.

Estructura del motor Diesel

Puestos ya en el terreno que es propio del automóvil podemos darnos cuenta de que el motor Diesel guarda un gran parecido con el motor de gasolina desde el punto de vista estructural. La figura 5 nos muestra un dibujo en transparencia de un motor Diesel perteneciente a un LANCIA, modelo *Prisma*, sobre el que hay que poner atención para ver si efectivamente es Diesel o se trata de un motor de gasolina pues su arquitectura se nos muestra ya a primera vista como un motor ligero estructurado con una disposición interna muy parecida a la que es corriente en los modernos motores de explosión. Por supuesto, una búsqueda de la disposición de los inyectores nos anuncia que se trata de un motor Diesel, pero hay que convenir que un motor Diesel para autocamión se deja identificar con la mayor rapidez por su propia imagen, cosa que no ocurre con los motores ligeros, tal como el presentado en la figura 5 que nos ocupa.

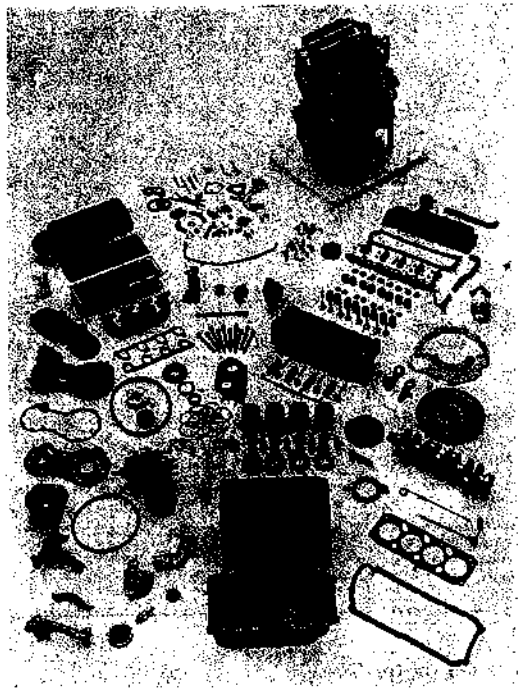


Figura 6. Despiezo general del motor Diesel FORD diseñado para el modelo *Fiesta* de la marca.

Esta impresión de semejanza entre ambos tipos de motores se advierte muy claramente cuando se estudia un despiece completo de un motor Diesel tal como el que vemos en la figura 6, y que corresponde a una producción de la casa FORD para equipar al modelo *Fiesta*. Aquí tenemos el motor Diesel completo y conjuntado en la parte superior de la figura, y completamente despiezado en el resto de la figura, con todos los órganos a la vista. Se trata de un motor ligero de 1.597 cm^3.

Desde un punto de vista práctico, y para hacer este libro más comprensible para todos aquellos que ya conocen el motor de gasolina, vamos a llevar

a cabo la comparación entre el gasolina/Diesel por medio de dividir nuestro estudio en las tres partes siguientes:

Organos fijos principales.
Organos móviles principales.
Organos auxiliares.

Veamos cada una de estas tres partes por separado.

Organos fijos principales

Entendemos por órganos fijos aquellos que componen la parte básica de un motor que hace las veces de sus paredes exteriores y que soporta por lo tanto el edificio del motor, sin participar de movimiento. En esta clasificación se encuentran incluidos los siguientes elementos:

Culata
Cámara de combustión
Bloque de cilindros
Cárter.

En la figura 7 mostramos todo este conjunto correspondiente a un motor Diesel ligero, de cuatro cilindros, de la marca RENAULT. Vemos, en la parte alta, la pieza de la culata (1) conjuntamente con algunas de sus piezas fijas de sujeción como el espárrago (E), la tapa cubreculata (T), la guía de válvula (G) y otras piezas de fijación. Hay que destacar también en esta figura la presencia de las juntas de estanqueidad siendo la más importante la llamada junta de culata (J) y la junta de la tapa cubreculata (A). En esta parte hay que destacar especialmente la presencia de la cámara de turbulencia (2) constituida por una pieza postiza que va adosada a la culata, tal como veremos cuando llegue el momento de estudiar el posicionado de las cámaras, y dentro de la cual se encuentra la punta del inyector y se inicia la combustión tal como se verá en su momento.

En la zona central de la citada figura 7 nos encontramos en 3 con el bloque de cilindros. En este caso se trata de un bloque de camisas desmontables, técnica que se suele llevar a cabo en los motores de cilindradas más bien altas, como es el caso de este motor de 2.068 cm^3. En esta parte tenemos en 4 el conjunto de la tapa de la transmisión para la distribución. En B y C tenemos los orificios de asentamiento de los extremos del cigüeñal con sus dos retenes de estanqueidad delantera (B) y trasera (C).

Por último, en la parte baja de la figura nos encontramos con la parte del bajo cárter (5) que constituye el depósito de aceite para el engrase, al igual que ocurre con los motores de gasolina. Aquí se halla el tapón de drenaje (D) desde el cual se realiza el cambio del aceite a través de su vaciado como es tradicional.

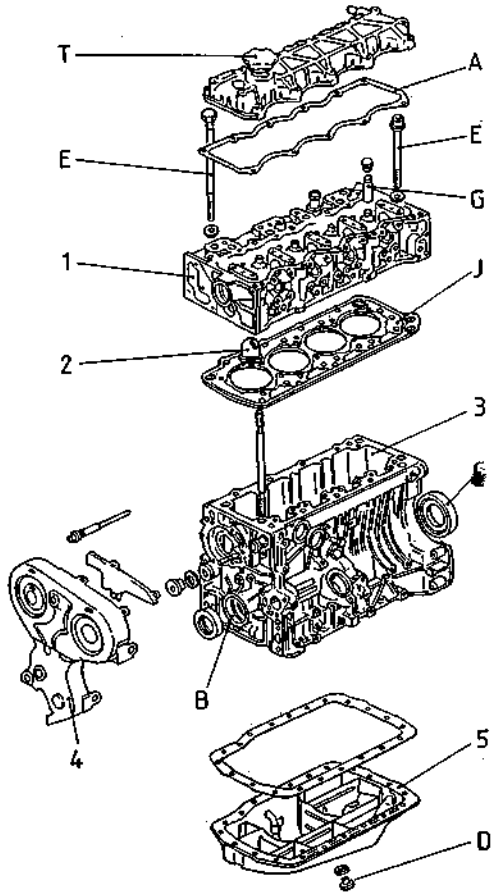


Figura 7. Despiezo general de los órganos fijos de un motor Diesel. 1, culata. 2, cámara. 3, bloque de cilindros. 4, tapa de la transmisión. 5, cárter.

Figura 8. Culata de un motor MERCEDES modelo OM 636 mostrando los orificios de las válvulas (1) y el orificio de alojamiento de la antecámara (2).

Una vez vistos los componentes de los órganos fijos pasemos a considerar cada uno de ellos por separado y con mayor atención en cada caso.

Culata

En una de las piezas en las que vamos a encontrar más cambios en el motor Diesel con respecto al motor de gasolina es precisamente en la culata. En primer lugar porque dada la alta relación volumétrica de estos motores las cámaras de combustión adquieren formas muy diferenciadas a las formas que tratan de obtener los ingenieros con el motor de explosión. Esto hace que las válvulas puedan colocarse paralelas y ser accionadas cómodamente por un solo árbol de levas, generalmente colocado en culata y accionando las válvulas por medio de balancines, aunque, en algunos casos, también se utiliza la técnica del accionamiento directo de las válvulas, como en los motores de gasolina más evolucionados. En los motores Diesel nunca es necesario, sin embargo, acudir a la técnica de utilizar dos árboles de levas en culata, ya que las válvulas paralelas dan mejor resultado.

En el caso de los motores Diesel que utilizan inyección indirecta (más adelante ya nos ocuparemos con extensión de este tema de la inyección) llevan la cámara incorporada a la misma culata, tal como es el caso presentado en la culata de la figura 7, en donde la señalamos con el número 2.

En la figura 8 tenemos una vista de la parte inferior de una culata que se utiliza en los motores MERCEDES. Los orificios grandes que se observan en esta figura corresponden al pasaje de los conductos de circulación (1) y se hallan, una vez montada la culata con todos los elementos móviles de la misma, ocupados por las válvulas. El orificio señalado con (2) de esta figura indica el pasaje de la antecámara de combustión que forma una pieza postiza. Obsérvese como en las culatas de los motores Diesel no existe la concavidad formada en la culata para constituir la cámara de combustión tal como tienen todas las culatas tradicionales de los motores de explosión.

Las culatas Diesel se pueden fabricar de fundición, como es el caso de las culatas de los motores MERCEDES-BENZ. Pero se observa una tendencia cada vez más extendida de utilizar aleaciones ligeras, del mismo modo a como se hace en los motores de gasolina (de este tipo son las culatas que fabrica PEUGEOT y sus marcas afines) y también de aluminio como suelen hacer los motores fabricados por los italianos.

Por último, las culatas deben poseer los orificios necesarios para el paso de los inyectores, que han de quedar al exterior para su ajuste y desmontaje fácil mientras la punta tiene que quedar en el interior de la antecámara de combustión. De igual modo se ha de prever el paso para las bujías de precalentamiento que son necesarias para facilitar el arranque.

Cámara de combustión

Como puede deducirse de lo dicho anteriormente, la cámara de combustión en los motores de inyección indirecta (pues en los motores de inyección directa la cámara se encuentra en la misma cabeza del émbolo) está formada por una pieza postiza que va anclada a la culata. Tal disposición clásica puede verse en la figura 9 correspondiente a una culata de motor DODGE. En este caso, el inyector (1) se encuentra roscado a la culata como si de una bujía se tratara. La entrada a la cámara del aire, en el momento de la compresión por la subida del émbolo, hace que este gas penetre en el interior de esta pequeña cámara, y la inclinación de la rampa que puede verse en 2 hace que el aire adquiera un importante movimiento de rotación o turbulencia que facilitará el encendido del gasóleo en cuanto el inyector lo proyecte al interior de la cámara. En este caso concreto, la pieza postiza (3) es la encargada de taponar la entrada de la antecámara en parte y la colocación de esta pieza citada requiere la mayor precisión pues de ella depende la turbulencia que debe producirse. Por último, vemos en esta misma figura la presencia de la bujía de precalentamiento (4) que resulta inevitable en todos los motores Diesel ligeros de este tipo.

En la figura 10 podemos ver todo este conjunto de piezas que componen una antecámara en un motor Diesel FIAT. En la parte alta de la figura tenemos el inyector (1) que se roscará directamente sobre la antecámara (2) a través de la pieza de ajuste (3). En 4 se ve la bujía de precalentamiento, y en la parte más baja de la figura que nos ocupa tenemos el émbolo (5).

Un corte de la antecámara de combustión de este mismo motor se puede estudiar también en la figura 11 en la que vemos la posición de la bujía de precalentamiento y la forma que tiene esta antecámara en su constitución interior.

El desmontaje de las cámaras de combustión de este tipo no es una operación que tenga que realizarse con frecuencia ni mucho menos. Sin embargo, estas antecámaras pueden ser sustituidas si han sufrido algún deterioro. En muchos casos estas antecámaras postizas se pueden desmontar retirando primero el inyector y la bujía de precalentamiento y, por supuesto, con la culata

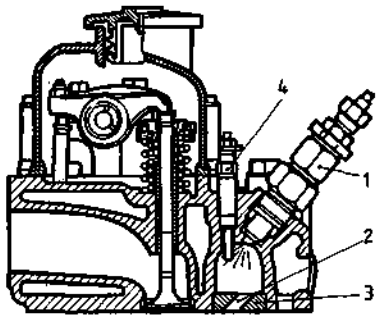


Figura 9. Culata de un motor DODGE mostrando la disposición de su antecámara de combustión. 1, inyector. 2, orificio de comunicación de la antecámara con el cilindro. 3, pieza postiza. 4, bujía de precalentamiento.

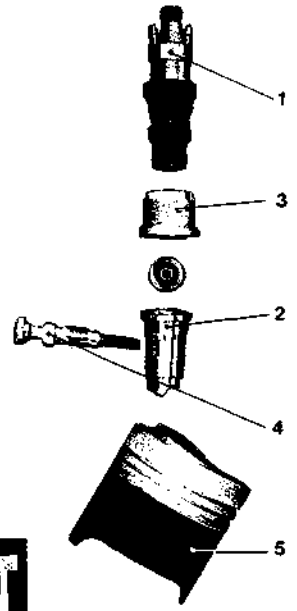


Figura 10. Conjunto de los elementos que hacen posible la combustión de un motor Diesel FIAT. 1, inyector. 2, antecámara. 3, pieza de ajuste. 4, bujía de precalentamiento. 5, émbolo.

Figura 11. Corte que muestra la forma interior de la antecámara de combustión en el motor de la figura anterior.

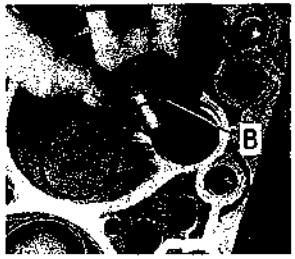


Figura 12. Esta figura nos muestra la situación de la parte postiza de la antecámara. B, bola para el centraje de la pieza postiza en el lugar de su colocación en la culata.

desmontada, golpeando desde el mismo orificio del inyector hasta su salida, tal como se ve en la figura 12. Para la colocación de una nueva antecámara será preciso proceder al calentamiento de la culata entre 80 a 100 °C para que la dilatación de la misma facilite el paso de la pieza. Una vez la culata caliente y la pieza fría se introducirá la antecámara en su orificio pero teniendo la precaución de que se haga en la forma correcta para que quede centrada en su exacta posición. Para ello, la mayoría de las cámaras van provistas de una bola de centraje que coincide en su posición correcta con un orificio en su emplazamiento en la culata. En la figura 12 puede observarse la situación de esta bola mencionada.

En líneas generales, cuando una antecámara de este tipo ha sido desmontada de la culata debe ser siempre reemplazada por otra nueva ya que sufre deterioro al ser desmontada. Por otra parte, a veces puede requerir la ayuda de alguna herramienta especial o utillaje para el mejor desmontaje y montaje, según la forma como lo haya previsto el constructor. Se recomienda pues, para esta operación, la consulta del *Manual de Taller* del motor en concreto con el que estemos trabajando.

Bloque de cilindros

El motor Diesel es, por tradición, amigo de los bloques de cilindros con camisas desmontables y en muchos casos húmedas, es decir, en las que el agua de la refrigeración toca directamente sobre la camisa. Esta solución resulta también bastante corriente en los bloques de cilindros de los motores ligeros, tal como es el caso del que vimos en la pasada figura 7. No obstante, se está observando una tendencia bastante creciente a la aplicación de motores con camisas secas y todavía más con los cilindros labrados en el mismo interior del bloque.

Vamos a dar unas pequeñas ideas sobre este aspecto que tiene una cierta

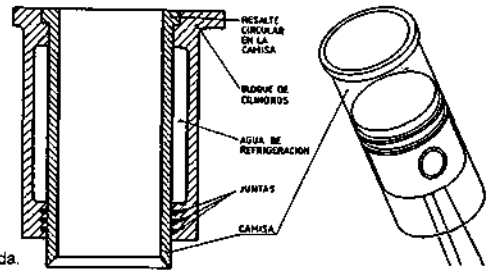


Figura 13. Camisa húmeda.

importancia a la hora de trabajar con el motor. En la figura 13 se puede ver un esquema de lo que se llama una *camisa húmeda*. La camisa constituye el cilindro dentro del cual desarrollará sus carreras de subida y bajada el émbolo, tal como se aprecia en el dibujo en perspectiva que acompaña esta figura. Ahora bien: la parte exterior de la camisa está en contacto con el agua de refrigeración que pasa por la cámara que se forma entre las paredes del bloque de cilindros y la pared exterior de la camisa. Por otro lado, tenemos también la solución de la llamada *camisa seca* que se puede ver en la figura 14. Aquí la camisa va adosada a la pared del mismo bloque de cilindros por lo que no tiene contacto con el agua de refrigeración. Por último queda otra nueva solución que consiste en no hacer camisas para el cilindro de modo que en el mismo material del bloque se halle labrado el cilindro por el que va a deslizarse el émbolo.

El motor Diesel de camión y no digamos el más grande, es partidario del encamisado de los cilindros y en muchas ocasiones del uso de camisas

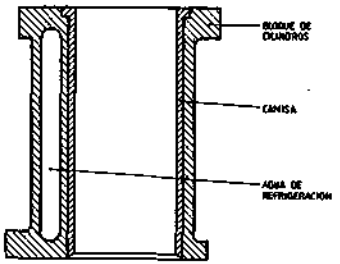


Figura 14. Camisa seca o cilindro encamisado.

húmedas. Esta solución resulta a veces un poco comprometida sobre todo para los motores rápidos que suelen alcanzar mayores temperaturas que los lentos. A veces aparecen poros en el material de la camisa y el agua puede penetrar en el interior del cilindro. Entonces la camisa hay que cambiarla sin otra posible reparación.

El uso de camisas tiene por objeto alargar en mucho la vida del motor en conjunto. En efecto: si el desgaste del cilindro hace que se tenga que acudir a un rectificado ello se produce reduciendo el material de la camisa. Esta operación puede realizarse dos o tres veces, pero no mucho más en aquellos motores en los que el cilindro está labrado en el mismo bloque. Sin embargo, en los motores provistos de camisas, se puede acudir al cambio de éstas con mayor rapidez y seguridad y exactitud en los resultados que el mismo sistema del rectificado, por lo que el motor se hace eterno mientras el bloque no se agriete o sufra algún golpe que lo deteriore. En el caso de los autocamiones, en los que se prevé un número muy elevado de kilómetros y en relativo poco tiempo —piénsese, por ejemplo, que un autocar puede estar trabajando constantemente durante meses y meses— pronto el motor acumula muchos kilómetros, o muchas horas de funcionamiento, por lo que el motor quedaría muy mermado en sus posibilidades si su duración quedara limitada a los dos o tres rectificados que permite el bloque de cilindros sin camisas. En estas condiciones la solución del encamisado de los cilindros resulta una sabia solución.

Sin embargo, en los automóviles el problema hay que contemplarlo desde otro punto de vista ya que, en general, no suelen hacer ni con mucho la elevada cifra de kilómetros que suele realizar un camión o un autocar. Incluso en los automóviles de servicio público, del tipo de los taxis, con los kilómetros no solamente envejece el motor sino también el conjunto del vehículo de modo que la sustitución del mismo por desgaste guarda una cierta relación con el momento de la sustitución del motor.

Debido a todo ello el motor Diesel para automóvil está evolucionando hacia el tipo de motor sin camisas, con lo que se acerca una vez más a la filosofía constructiva del motor de gasolina. En la figura 15 tenemos el conjunto de un bloque de cilindros correspondiente a un motor RENAULT de 1.596 cm^3 de tipo Diesel que se halla dentro de esta tendencia, que tiene sin duda también evidentes ventajas sobre todo en lo que respecta a la gran rigidez que proporciona al bloque, la garantía que presenta frente a los problemas de estanqueidad que el Diesel de camisas húmedas tiene, y una menor complejidad del bloque de cilindros que hacen que el motor pueda ser más barato en sus costes de fabricación.

Los bloques de cilindros se construyen generalmente de fundición. Algunos constructores, no obstante, acuden a la fabricación de esta importante pieza con aleaciones ligeras, lo que sería ideal para el aligeramiento de peso del motor, tema de la mayor importancia en el automóvil como sabemos, pero las aleaciones ligeras tienen algunos inconvenientes de diseño que hacen difícil poder adaptar este procedimiento a la generalidad de los motores. No se olvide que el bloque de cilindros, si bien desde el punto de vista del mecánico no presenta ningún problema, para el ingeniero debe ser un soporte lo suficientemente rígido y estable para aguantar el vertiginoso giro del cigüeñal con sus efectos giroscópicos, a lo que se une el movimiento alternativo y muy rápido de cada uno de los émbolos. A estos movimientos principales, generadores de esfuerzos, se une el giro del árbol de levas y el de la bomba de inyección, la de agua de refrigeración y el alternador, todos solidarios de algún modo del bloque de cilindros. Y a todas estas presiones hay que añadir, de nuevo, el efecto de las elevadas temperaturas localizadas de forma irregular, es decir, tanto más elevadas cuanto más cerca de la cámara de combustión; ello origina dilataciones irregulares que pueden ocasionar grietas si el bloque no está muy bien estudiado y realizado con un material particularmente dotado para este trabajo. Y este es el caso de la fundición.

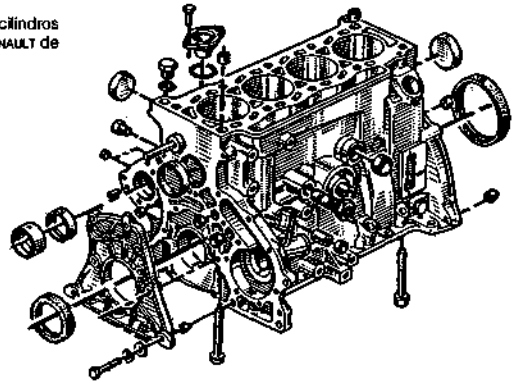


Figura 15. Bloque de cilindros de un motor Diesel RENAULT de 1.596 cm^3.

Trabajos a realizar en el bloque de cilindros

En los motores de combustión interna que nos ocupan la mayoría de las reparaciones han de llevarse a cabo con las piezas móviles. Cuando hablemos de los órganos móviles y tratemos del émbolo estudiaremos también cómo debe llevarse a cabo la comprobación del cilindro para ver si es necesario el cambio de aquél y el rectificado de éste.

Independientemente del trabajo que ha de hacerse para la comprobación del desgaste, existe un trabajo que es propiamente del mismo bloque de cilindros cuandos éstos se hallan encamisados y que consisten en el desmontaje de las camisas.

Para desmontar las camisas de un motor se necesita un extractor que cada fábrica proporciona según el modelo de sus motores pero que en realidad es bastante simple y puede ser fabricado sin demasiados problemas por el propio operario. Consta de un tornillo pasante en una de cuyas puntas se coloca una pequeña plataforma del tamaño de la camisa y en la otra una pieza que hace de tope y que recibe la camisa que sale de su alojamiento. En la figura 16 tenemos un dibujo que muestra el momento en que se está sacando una camisa seca del bloque de cilindros de un motor. Las camisas secas son precisamente las que tienen mayores dificultades en su extracción por la gran superficie de contacto que presentan; pero el extractor no tiene problemas para, poco a poco, irlas sacando de su alojamiento.

Mayor cuidado se tendrá que tener en el momento del montaje pues aquí sí puede estropearse el bloque o quedar la camisa mal montada a poco que el operario se descuide. Hay que proceder de la siguiente manera:

Cuando se adquiere una nueva camisa para la sustitución de otra en mal estado, esta nueva camisa suele estar untada con un aceite protector que impide la formación de orín durante el tiempo del almacenaje. La primera operación ha de consistir pues, en la limpieza de este aceite hasta conseguir hacerlo desaparecer de toda la superficie de la camisa, tanto externa como interna. A continuación se lubrificará abundantemente la superficie externa de la camisa con aceite de motor limpio para dejarla en las mejores condiciones para su montaje.

Antes de proceder a la colocación de la nueva camisa conviene examinar con toda atención el estado de su superficie externa, sobre todo en el caso de las camisas secas. Hay que tener en cuenta que pequeñas rebabas o desperfectos superficiales son suficientes para causar distorsiones durante el montaje. Así pues, será necesario repasarlas previamente si se observan estas rebabas.

El montaje se efectúa de un modo similar a como se hizo el desmontaje. Con la ayuda del útil que vimos en la pasada figura 16 pero esta vez invirtiendo su posición y cambiando algunos accesorios, del modo que se puede ver en la figura 17, se monta la nueva camisa en el agujero del cilindro, perfectamente untada de aceite nuevo y perfectamente encarada, y se va haciendo rodar el espárrago central que actúa desde las piezas de sus extremos como si de una prensa se tratara haciendo que la camisa progrese lentamente en su ubicación en el cilindro.

Algunos motores necesitan que las camisas estén ancladas dentro del cilindro con ciertas tolerancias con respecto a la cara superior del bloque. En este caso, una vez montada la camisa del modo que se ha visto, hay que proceder a la comprobación de la cota, tal como se está haciendo en la figura 18, con la ayuda de una regla y una galga de espesores. Esta medición rara vez suele ser superior a 0,10 mm. como máximo pero hay que consultar para ello el *Libro de Taller* del motor en concreto con el que estemos trabajando.

Finalmente, y para acabar con el tema del bloque, decir que las camisas nuevas necesitan un período de asentamiento después del montaje por lo que no hay que tomar mediciones de su diámetro interno hasta transcurrido un tiempo de asentamiento. En cuanto a las camisas húmedas hay que cuidar

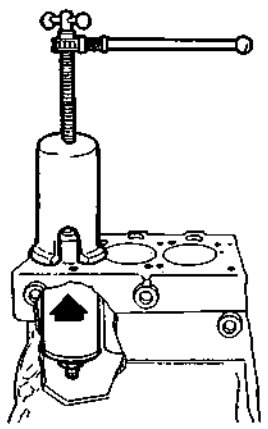


Figura 16. Desmontando una camisa seca con la ayuda de un utillaje de tipo prensa.

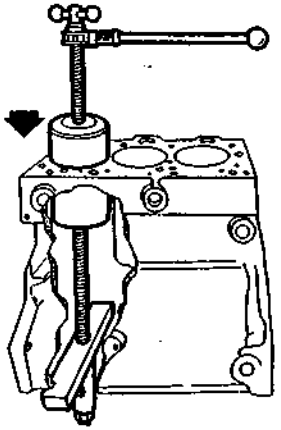


Figura 17. Montaje de una camisa seca en un motor Diesel con la ayuda de un útil de montaje.

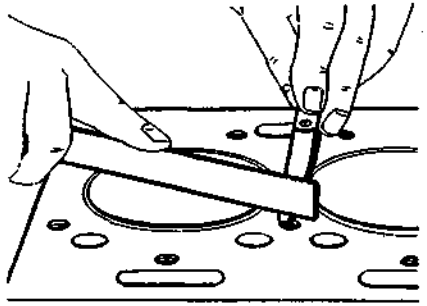


Figura 18. Como operación final en el montaje de la camisa se debe proceder a comprobar que no sobresalga del nivel del bloque más del valor permitido por el fabricante. Esta comprobación se realiza con una regla y unas galgas de espesores.

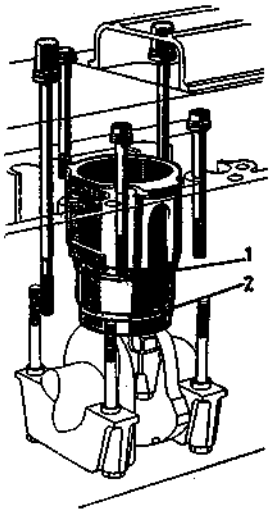


Figura 19. Disposición de las juntas tóricas en una camisa húmeda de la marca RENAULT. 1, junta tórica de asentamiento de la camisa. 2, junta de ajuste.

mucho de la colocación de sus juntas de estanqueidad. En la figura 19 se muestra una de estas camisas correspondiente a un motor RENAULT con sus espárragos de anclaje. En 1 tenemos la junta tórica de asentamiento de la camisa mientras en 2 está la junta inferior, de ajuste. En este tipo de camisas las juntas tienen una importancia capital y no sólo por la estanqueidad sino también como suplemento de las dilataciones de la camisa con el calor retenido durante el funcionamiento del motor, por lo que realizan también el trabajo de unas juntas de expansión. Tienen a un lado agua caliente y en el otro aire o vapor de aceite dos productos ante los cuales la goma de las juntas reacciona de manera diferente. Para el agua el cierre ideal es la goma natural mientras para el aceite ha de ser goma artificial (buna) o silicona. Sin embargo, todos estos productos no aceptan el calor cuando está por encima de los 120 °C y por lo tanto las juntas han de estar lejos de la cámara de combustión que es la zona más caliente. Por lo tanto el cierre de las camisas por la parte baja es el que se lleva a cabo con la mayor frecuencia en el diseño de estos motores a base de anillos o, dicho de otra manera, de juntas tóricas. Suelen disponerse dos o tres, según los casos, pero lo importante es que el superior sea de goma natural y esté colocado lo más arriba posible, debiendo ser el inferior de un material sintético y que todos tengan la particularidad de que

sean deformables para adaptarse a la posición a que son sometidos por compresión. El alojamiento debe tener siempre mayor sección que el aro de goma pues de no ser así la goma no cabría en su alojamiento y estrangularía el cilindro hasta poder provocar una ligera deformación en el diámetro interior de la camisa con lo que el émbolo rozaría en esta parte ocasionando desgastes, fugas, gripajes y hasta el agarrotamiento. Esto es lo que se pretende mostrar en la figura 20. A la derecha podemos ver las secciones comparadas de aro y alojamiento en la ranura central. Arriba y abajo, dos formas igualmente correctas porque permiten la deformación, pero no queda llena toda la sección. En la figura de la izquierda se muestra, muy exagerada, la presión que la junta podría ejercer sobre el material de la camisa cuando no cabe en su alojamiento.

Consecuentemente a lo dicho es preciso tener el mayor cuidado cuando se trata del montaje de las juntas tóricas en la camisa evitando que la junta se enrosque sobre sí misma durante su colocación ya que ello la endurece y dificulta su adaptación posterior con los defectos que hemos apuntado antes y que pueden afectar a la libre circulación del émbolo.

En muchos motores las camisas se suelen montar al mismo tiempo que el émbolo y la biela, es decir, formando un conjunto, tal como se aprecia en la figura 21. Todo este conjunto se introduce en el interior del bloque de cilindros y se unirá posteriormente al cigüeñal. En este tipo de montaje hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

En primer lugar la posición de la camisa con respecto al bloque de cilindros que debe ser única para su buen acoplamiento. Para ello la forma exterior de la camisa nos ayuda a ver cuál es la posición correcta de su posicionado. Esto se aprecia en la citada figura 21.

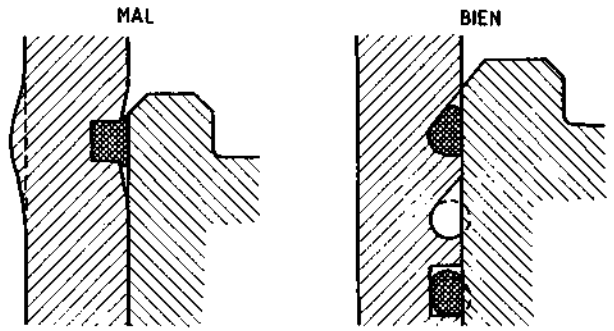


Figura 20. Condiciones que deben reunir las juntas de libre dilatación.

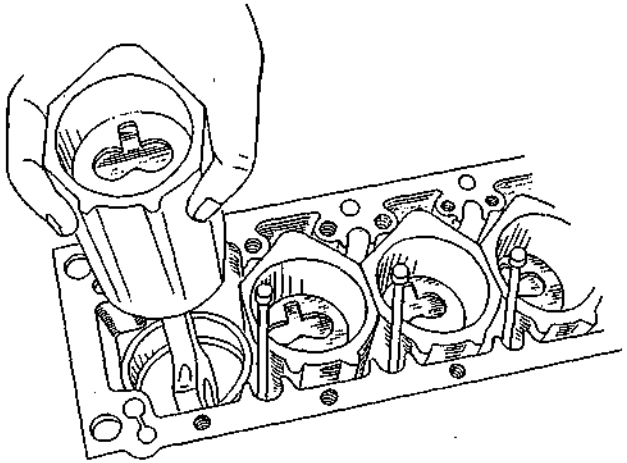


Figura 21. Montaje de la camisa junto con el émbolo y biela en el interior del bloque.

En segundo lugar la posición del émbolo también se halla indicada con respecto a la camisa por indicaciones en el mismo émbolo en algunos casos o, como en el mostrado en la figura 21, la posición de la cámara de turbulencia en la cabeza del propio émbolo ya indica la posición que éste debe adoptar.

En tercer lugar comprobar que los orificios de paso del aceite hacia la parte alta de la biela coincidan con la posición correcta para no haber montado la biela al revés. En la figura 21 este orificio está señalado con una flecha en el motor RENAULT en que se basa nuestro ejemplo de esta figura.

Por último, hay que cerciorarse de que el nivel de montaje de todas las camisas en el plano del bloque de cilindros, sea idéntica para el buen asentamiento de la junta de culata y de esta misma pieza.

Con esto damos por terminada esta descripción general de los trabajos que hay que realizar en el bloque de cilindros de los motores Diesel de automóvil.

Cárter

La última de las piezas que componen la arquitectura del motor es el cárter de aceite, depósito inferior, como pudimos ver en 5 de la pasada figura 7

que tiene por misión acoger a todo el aceite de engrase del motor así como el extremo del filtro de la bomba de engrase que bombeará este aceite a través de todos los órganos móviles del motor desde donde el aceite regresa nuevamente al cárter y se establece así un circuito de constante circulación mientras el motor se halle funcionando.

El cárter debe hallarse siempre ventilado para conseguir refrigerar al aceite que llega hasta él, generalmente muy caliente, a través de su paso por el interior del motor, para poder restablecerle una temperatura más moderada que le restituya sus cualidades engrasantes y refrigerantes. Por eso ocupa siempre la parte más baja del motor.

No presenta ningún problema de tipo mecánico que sea digno de mención. En todo caso solamente hay que destacar la necesidad de que la junta se mantenga en buenas condiciones para que no existan fugas de aceite.

Organos móviles principales

Una vez destacados los órganos fijos del motor que constituyen su base, resulta forzoso pasar a estudiar las partes móviles del mismo circunscritas al llamado tren alternativo. Como hemos hecho en el caso anterior vamos a dedicarnos a esta importante parte del motor Diesel desde sus cuatro elementos fundamentales que son:

Conjunto de émbolos y aros
Bielas
Cigüeñal
Volante

Para empezar, y antes de entrar en el tema de lleno, veamos en la figura 22 el conjunto del tren alternativo de un motor Diesel. Aunque se trata de un motor de cuatro cilindros solamente se ha dibujado un conjunto émbolo y biela ya que los tres restantes son iguales. En cuanto al cigüeñal (3) se halla acompañado de todos sus cojinetes (C) en la parte baja de la figura así como de la polea (P) de salida del cigüeñal. Vayamos a ocuparnos sucesivamente de cada uno de estos elementos.

Conjunto de émbolos y aros

Los émbolos o pistones de los motores Diesel ligeros se fabrican con aleaciones ligeras de aluminio al igual que acontece con los émbolos de los motores de gasolina. Sin embargo, comportan un diseño algo diferente ya que no quedan afectados por la posición de las válvulas, lo que en los motores de gasolina le dan a veces unas formas particulares. El émbolo Diesel debe, eso sí, ser más reforzado debido a las mayores presiones de compresión que va a soportar y muchas veces recibe en su cabeza la propia cámara de combustión

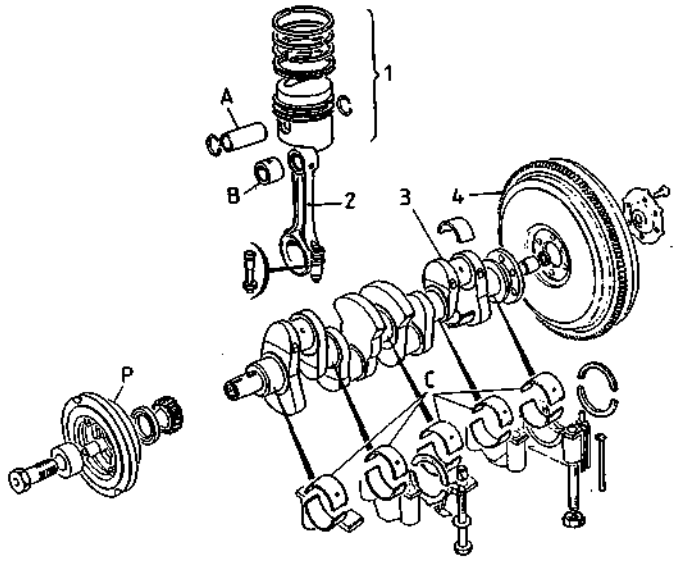


Figura 22. Conjunto del tren alternativo de un motor Diesel para automóvil. 1, conjunto de émbolo y sus aros. 2, biela. 3, cigüeñal. 4, volante de inercia. A, eje de émbolo o bulón. B, casquillo de pie de biela. C, cojinetes del cigüeñal. P, polea.

Figura 23. Embolo de motor rápido PEUGEOT.

o parte de ella según el diseño; además, en general, resulta más pesado dado el hecho de su mayor robustez. En la figura 23 tenemos un ejemplo de émbolo de un tipo que resulta muy corriente en los motores que nos ocupan.

La cabeza del émbolo obedece siempre a las exigencias de la cámara de combustión, pero la parte inmediatamente más baja vela por la estanqueidad y ello lo logra por medio de los aros o segmentos que tienen por objeto suplir las necesarias tolerancias que el émbolo tiene que tener frente al cilindro ante las dilataciones y debe conseguir que las altas presiones que se desarrollan en la parte de la cabeza no tengan modo de pasar a la baja presión que existe en la parte baja del cárter. Son pues, unas juntas móviles.

Con el fin de obtener un aligerado de masas que necesitan estos motores rápidos Diesel, algunos de los cuales, como ya vimos en su lugar, pueden alcanzar las 5.000 r/min, los ingenieros tratan de conseguir los émbolos lo más ligeros posible. De ahí el uso del aluminio en las aleaciones de que se compone su material. Con todo, y puesto que el aluminio no aguanta el trabajo a altas temperaturas como lo hace la fundición, en muchos émbolos de aluminio actuales realizados para los motores muy cuidados desde el punto de vista del diseño se acude a la solución de hacer el aluminio fundido sobre un inserto de fundición que hace de ranura de alojamiento del primer aro obteniéndose así émbolos más robustos.

Los émbolos no precisan un tratamiento especial en cuanto se refiere a los trabajos que hay que llevar a cabo con ellos por el mecánico que diferencien a los motores de gasolina y a los motores Diesel. No obstante, nos ocuparemos de ellos en el próximo apartado para hacerlo conjuntamente con la biela y allí resaltaremos las precauciones que se tienen que tener en cuenta con el conjunto.

Bielas

Las bielas de los motores Diesel rápidos son más robustas que las utilizadas en los motores de gasolina. A pesar de ello son, sin embargo, del menor peso posible para facilitar los altos regímenes de giro que las masas pesadas dificultan. Por ello están fabricadas con aceros aleados de gran calidad, como son los aceros al cromo-níquel-molibdeno o al cromo-molibdeno-manganeso. Por lo demás, la pieza en sí es bastante simple y vamos a pasar a comentar algunos de los trabajos que hay que llevar a cabo con ella.

Trabajos con la biela

Para desmontar la biela del motor se ha de tener la culata desmontada y también el cárter del aceite. La extracción de la biela se efectúa desmontando en primer lugar la tapeta de biela que la une al cigüeñal, es decir, el sombrerete mediante el cual está unido al gorrón del cigüeñal, tal como se está haciendo en la figura 24. Para ello hay que retirar las tuercas de los pernos de sujeción

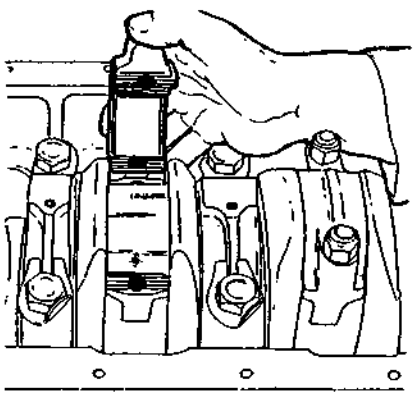


Figura 24. Desmontaje del sombrerete de una biela por la parte baja del motor.

que en casi todos los casos son autofrenantes y están aseguradas mediante un sistema de blocaje ya sea de pasador o, como se aprecia en la figura, por medio de una oreja levantada de su propia arandela. En esta posición el conjunto émbolo-biela puede sacarse sin dificultad por la parte alta del bloque de cilindros, del modo que se aprecia en la figura 25. Al darle un giro al cigüeñal el émbolo asciende al PMS y de allí empujando desde abajo resulta muy fácil extraer todo el conjunto.

El desmontaje de los aros con la herramienta especial o por los procedimientos manuales habituales, así como el desmontaje del eje del émbolo o bulón sacando las arandelas Seeguer y con la ayuda de un extractor o por el procedimiento del calentado del émbolo son prácticas tradicionales de trabajo que se llevan a cabo en todos los talleres de motores de gasolina por lo que no vamos a entrar en detalles sobre ello. En lo que se refiere a los motores Diesel hay que tener varios cuidados adicionales o que, por lo menos, requieren en ellos una mayor atención dado el caso de las mayores presiones que se mantienen y logran en las cámaras de combustión. Así pues hay que verificar con toda atención el estado de la biela sobre todo en lo que respecta a la alineación de la misma por el procedimiento tradicional de comparar la posición relativa de dos barras, del modo que muestra la figura 26. A una distancia de unos 127 mm las barras A y B, que hacen el efecto de ejes prolongados, no deberán haberse desviado más de unas dos décimas de mm aunque esta medida debe indicarla el fabricante y figura en muchos *Manuales de Taller* del motor en concreto con el que estamos trabajando. En ocasiones estas diferencias se dan en milésimas de milímetro. Si la biela no está dentro de la tolerancia que le garantiza el constructor se puede proceder a su rectificación

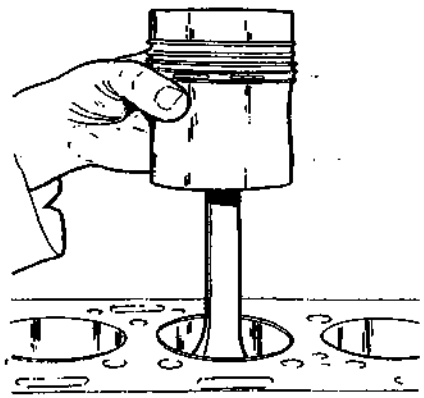


Figura 25. Extracción del conjunto émbolo-biela desde la parte superior del bloque.

por el procedimiento de práctica corriente en los talleres de sujetarla en un tornillo de banco y hacer palanca hasta conseguir la corrección de su defecto. Ello requiere, sin embargo, una cierta práctica.

También se tendrá que comprobar con mucha atención el estado de los aros pues no olvidemos la importancia de su misión en estos motores tan comprimidos. El buen ajuste del aro sobre las paredes del cilindro se com-

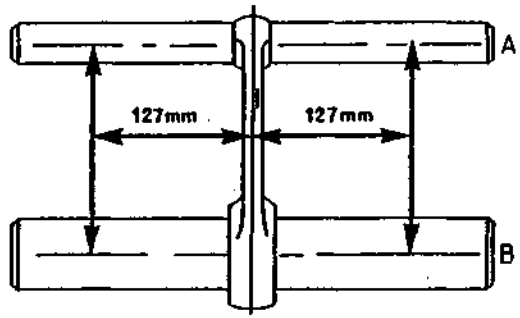


Figura 26. Comprobación del estado de alineación de la biela. La desviación de los ejes A y B debe medirse por lo menos a 127 mm del cuerpo de la biela.

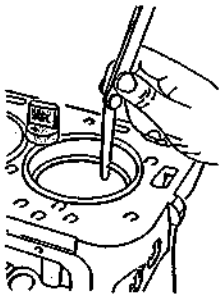
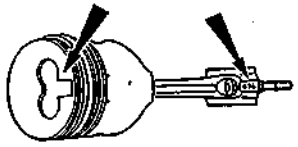


Figura 27. Comprobación de la holgura del aro en el interior del cilindro, con la ayuda de una galga de espesores.

Figura 28. Comprobación de la correcta colocación de la biela con respecto al émbolo



prueba introduciendo el aro en el interior del cilindro como indica la figura 27. La galga de espesores marcará el juego del aro u holgura de sus ranuras que no es bueno que lleguen a las dos décimas de mm aunque ello depende de los datos que el fabricante proporciona. Hay casos, en los motores de gran número de r/min que desarrollan gran cantidad de calor, que se admiten valores de hasta 0,60 mm. Por ello este dato hay que consultarlo antes de dar por malo un aro por esta cuestión.

En cuanto al emparejamiento del émbolo y su cilindro hay que hacer todas las comprobaciones tradicionales relativas a la ovalización del cilindro con la ayuda de un micrómetro de interiores así como del juego de los émbolos con respecto al cilindro para ver si estas piezas están en condiciones de seguir trabajando juntas, del mismo modo que se efectúa en los motores de gasolina y que se han descrito en el libro de esta misma Enciclopedia titulado *El Motor de Gasolina*.

En el motor Diesel hay que tener especial atención en el posicionado de la biela con respecto al émbolo. Generalmente esta posición ya va marcada o señalada de alguna forma que no deje dudas al respecto. Así se puede ver en la figura 28 en donde las flechas indican la correcta posición de la cámara de combustión que se encuentra en el émbolo y la posición de la biela correspondiendo la numeración de ésta con la ranura central de la cámara. Por supuesto, además, ni émbolos ni bielas, ni cojinetes, etcétera, deberán ser intercambiados durante su desmontaje pues luego, en el montaje no se sabría a que conjunto corresponde cada una de las piezas con el consiguiente desajuste general en el caso de un montaje posterior.

En el caso de tener que sustituir el casquillo del pie de biela, que vimos señalado con la letra B en la figura 22 el trabajo se realiza con la ayuda de un extractor como es tradicional en este trabajo también para los motores de gasolina. Hay que cuidar de eliminar cualquier rebaba o canto vivo o irregularidad que se aprecie antes de montar un nuevo casquillo. La colocación del

nuevo casquillo deberá hacerse con cuidado para que el orificio de engrase coincida con el orificio que a este mismo fin lleva la biela, de modo que al colocarlo en su posición de montaje hay que enfrentarlo debidamente para que no cambie de posición durante el montaje con la prensa. Tanto el escariado del casquillo para lograr el paso del eje del émbolo o bulón como el ajuste de éste deben hacerse a la manera que es tradicional; pero conviene, después de esta operación, llevar a cabo una escrupulosa verificación de la correcta alineación de la biela, tema sobre el que ya hemos hablado. En la figura 29 podemos ver el momento en que se está escariando un casquillo de pie de biela para su aplicación a un eje de émbolo. El adaptador de sujeción al tornillo de banco (1) ha de mantener firmemente el cuerpo de la biela por la cabeza de la misma. El escariador (3) ha de manejarse con suavidad para no provocar esfuerzos en la biela que pudieran desalinearla.

Montaje del conjunto émbolo-biela en el cilindro

Una vez montado el conjunto émbolo-biela entre sí, es decir, colocada la biela por medio del bulón y éste sujeto por los clips o arandelas Seeguer, además de montados todos los aros en el émbolo, se procede al montaje de este conjunto por la parte alta del cilindro, del modo que se aprecia en la figura 30, introduciendo el conjunto por la parte superior del bloque. Previamente se habrá limpiado la superficie del cilindro y también las muñequillas del cigüeñal, todo lo cual además se habrá aceitado abundantemente con aceite limpio del motor. Por otra parte, el cigüeñal se habrá hecho girar de modo

Figura 29. Escariando un pie de biela. 1, útil de sujeción de la biela al tornillo de banco. 2, biela. 3, escariador.

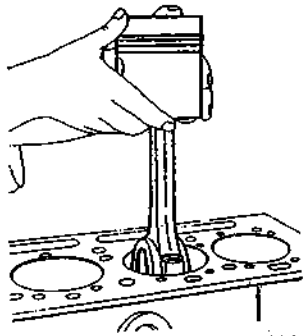


Figura 30. Montaje del conjunto émbolo-biela por la parte superior del bloque.

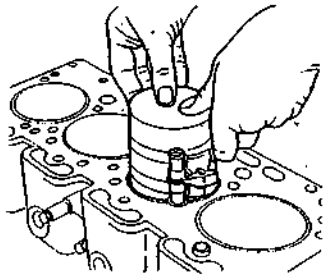


Figura 31. Entrada del émbolo ayudado por un comprimidor de aros.

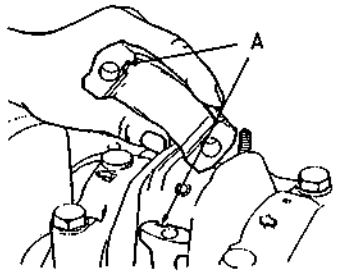


Figura 32. Al montar el sombrerete hay que comprobar que las uñetas coincidan con los rebajes (A).

que la muñequilla correspondiente a la biela que se está montando quede en el punto más bajo para no estorbar al llevar a cabo este montaje.

Como se ha advertido es ahora el momento de no equivocar la posición del émbolo con respecto a su situación en el cilindro, de modo que la cámara o las indicaciones que hay en la cabeza del émbolo con respecto a su posicionado hay que respetarlas. Por otra parte el émbolo se envuelve con un comprimidor de aros para hacer más fácil la entrada de éste en el cilindro. Esta operación se ve en la figura 31. Haciendo presión por la parte superior de la cabeza del émbolo éste se introduce con todos sus aros comprimidos con la ayuda del útil. Por supuesto, y como se ha dicho antes, cada émbolo debe ser colocado exclusivamente en su cilindro sin intercambio de posiciones.

Para facilitar el montaje, el conjunto émbolo-biela se hace bajar hasta su PMI hasta que se encaje con su muñequilla correspondiente en el cigüeñal, asegurándose, al ir a colocar el sombrerete, de que las uñetas (señaladas con

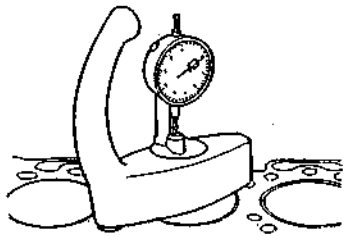


Figura 33. Comprobación de la cota a que queda el émbolo con relación a la superficie del bloque.

A, en la figura 32) coincidan con los rebajes y que los números marcados en el sombrerete y en la biela estén en el mismo lado. A continuación ya se puede proceder al montaje del sombrerete colocando los pernos de sujeción de la biela de modo que la parte plana de la cabeza quede por la parte interior; se colocan las tuercas y se aprietan con llave dinamométrica al valor indicado por el fabricante del motor.

Una característica muy especial de algunos motores Diesel consiste en llevar a cabo una comprobación de la altura a que queda el émbolo con respecto a la cara superior del bloque de cilindros. Para ello se coloca el émbolo recién instalado en su PMS y se comprueba con la ayuda de un comparador la cota a que queda el émbolo con respecto a la superficie superior del bloque de cilindros, tal como se está haciendo en la figura 33. Ha de tenerse en cuenta que estos motores Diesel van muy comprimidos de modo que el émbolo asciende hasta muy arriba al llegar a su PMS, sobre todo si, además, resulta que hay antecámara de turbulencia en la culata del modo que ya vimos. No hay que decir que si se ha rebajado la cara superior del bloque por algún trabajo de rectificado, el émbolo debe mantenerse de todos modos a igual distancia con respecto a esta superficie, por lo que puede llegar incluso a ser necesario rebajar la parte superior de los émbolos para lograr mantenerlos en la posición que la tolerancia autorice. Estas mediciones suelen ser de décimas de mm y deben consultarse con el *Manual de Taller* del motor con el que se trabaje.

Para terminar este tema digamos que en los motores Diesel, y con mucha mayor razón que en el motor de gasolina, hay que controlar que el peso de los órganos móviles del tren alternativo sea el mismo para todas sus piezas. Así pues, bielas y émbolos deben pesar lo mismo.

Cigüeñal

El cigüeñal es la pieza de mayor importancia en el motor Diesel como receptor final de las características de una combustión progresiva y de gran fuerza a bajo número de vueltas. Por lo tanto debe ser construido dándole dimensiones y gruesos relativamente grandes de manera que ofrezcan una seguridad máxima en comparación con otras piezas del motor. El cigüeñal es la pieza acodada que recibe a través de la biela la fuerza que se produce sobre el émbolo. Por lo tanto, el cigüeñal es el encargado de transmitir la energía que acumulan todos los émbolos a los órganos de la transmisión y a través de ellos a las ruedas del coche.

Los cigüeñales de los motores Diesel aplicados al automóvil se construyen de una sola pieza. Su forma viene determinada por las tensiones originadas por la presión del gas, las fuerzas de inercia y las presiones sobre las superficies de deslizamiento. Por eso los cigüeñales de los motores Diesel han de ser forzosamente más robustos y resistentes que los de los motores de gasolina.

Otro fenómeno que tiene mucha importancia en la naturaleza del funcio-

namiento de los cigüeñales Diesel son los esfuerzos debidos a las vibraciones. Las masas del cigüeñal y los émbolos con las bielas dan lugar a un sistema capaz de vibrar, ya que es un conjunto elástico, sobre todo el cigüeñal, inducido por las fuerzas que actúan periódicamente por causa de las combustiones. En los motores rápidos estos esfuerzos de vibraciones ocupan un primer plano y son los que sirven para dimensionar el eje.

El cigüeñal es una pieza muy torturada o retorcida tanto en el motor Diesel como en el de gasolina pero especialmente en aquél. Ha de recibir los golpes de cada combustión y transmitir, como se ha dicho, todo el esfuerzo útil al exterior. Por necesidades de funcionamiento trabaja intensamente bajo todas las formas posibles de torsión, flexión, cortadura, vibración, alineación de apoyos. Para evitar que los motores tengan tamaños exagerados el cigüeñal se diseña en formas muy flexibles y adaptables a la situación de sus apoyos. De todo ello se deduce que un bloque de cilindros no suficientemente rígido permite que los apoyos del cigüeñal cedan, con lo que al cabo de un cierto trabajo el cigüeñal se romperá. El mismo efecto produce una línea de apoyos mal alineada, aunque el bloque sea, en este caso, razonablemente rígido.

Por todo lo dicho, el cigüeñal del motor Diesel es una pieza particularmente robusta y en este aspecto se distingue a la vista del cigüeñal del motor de gasolina que resulta siempre más ligero. El mayor peso del conjunto émbolo-biela y los mayores esfuerzos de fuerza centrífuga que tiran del eje como una piedra en una honda hacen que para compensarlos el cigüeñal Diesel deba estar provisto de buenos contrapesos en la parte correspondiente a cada cilindro, y en los motores de varios cilindros estas fuerzas de inercia pueden provocar lo que se llama *pares* o *momentos de vuelco* o de flexión que también debe soportar el cigüeñal, su soporte y, en último término, el anclaje del motor a la carrocería o el bastidor del vehículo.

En la figura 34 tenemos el dibujo de tres cigüeñales correspondientes a motores Diesel de automóvil. En A se encuentra el cigüeñal del motor FIAT estudiado para el modelo *Ritmo* de esta misma marca; en B, el cigüeñal del motor Diesel RENAULT que equipa a los modelos de esta misma marca *R-9* y *R-11*, mientras en C se puede ver el cigüeñal del motor Diesel de PEUGEOT, modelo XUD 9, al que nos hemos referido en páginas anteriores muchas veces, y que forma la planta motriz de varios modelos de TALBOT, CITROËN y la propia PEUGEOT. En ellos hay que destacar la robustez de su conjunto y la disposición de sus contrapesos.

Trabajos con el cigüeñal

Una vez desmontada la culata y el cárter de aceite, el cigüeñal queda a la vista poniendo el motor boca abajo. En esta situación lo tuvimos cuando estuvimos tratando con el conjunto émbolo-biela y desconectamos el sombrerete de una biela para sacar esta parte del tren alternativo, es decir, lo que nos mostraba la figura 24 pasada. Para más detalle tenemos la figura 35 en la que se ha dibujado el aspecto que muestra el cigüeñal por debajo con todos

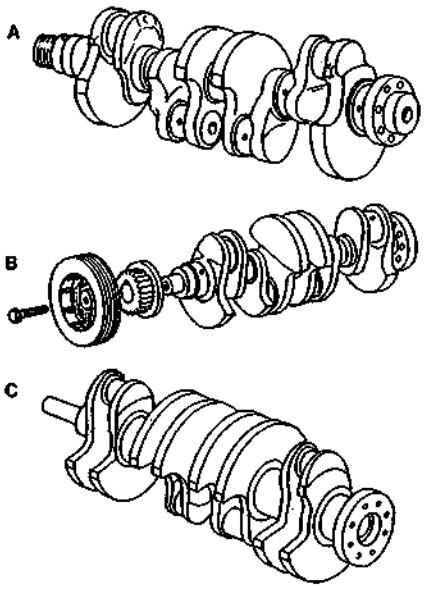


Figura 34. Tres tipos de cigüeñales usados en los motores Diesel de automóvil.

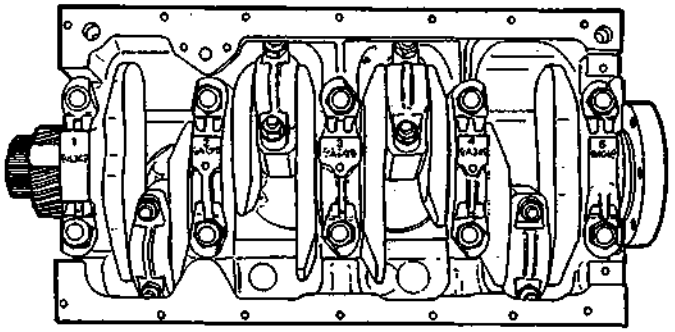


Figura 35. Vista de un cigüeñal desde la parte baja del cárter con todos sus cojinetes montados y sus bielas.

sus cojinetes de apoyo, marcados con números del 1 al 5, tal como acostumbran a estar señalados en la realidad, y los sombreretes de las bielas unidos a sus propias muñequillas. Todos ellos sujetos con sus respectivos pernos de sujeción.

El cigüeñal queda desmontado cuando se han desmontado todos los semicojinetes de apoyo, ya que entonces puede salir de su ubicación en el bloque de cilindros tal como acontece con el cigüeñal del motor de gasolina. Los cojinetes de apoyo 2, 3 y 4 son fáciles de desmontar en casi todos los motores Diesel; pero los cojinetes 1 y 5, que corresponden a los extremos del árbol, pueden a veces requerir el desmontaje de otras piezas próximas. Por ejemplo, es casi seguro que se tendrá que retirar primero la bomba de engrase que suele estar montada sobre uno de los cojinetes de los extremos ya sea el delantero o el trasero, según el diseño del motor.

Los semicojinetes de apoyo suelen llevar unas arandelas de empuje que están situadas a ambos lados de la carcasa de los cojinetes para poder regular, mediante ellos, la holgura longitudinal del cigüeñal. En la figura 36 se puede ver una de estas arandelas —en este caso una semiarandela pues la otra queda oculta en el otro semicojinete— que acaba de ser retirada de un desmontaje del cigüeñal en un motor Diesel. Cuando el juego u holgura axial del árbol rebasa ciertos límites (cuya medición ya veremos más adelante cómo se lleva a cabo) se pueden poner arandelas de este tipo pero de sobremedida. Por medio de este procedimiento se puede corregir la holgura axial del cigüeñal. En muchos motores de este tipo estas arandelas de reglaje se colocan solamente en uno de los cojinetes de bancada, o cojinetes de apoyo como los estamos llamando, y desde allí se regula el juego axial. Se suele utilizar para este efecto el cojinete de apoyo central, pero esta no es una norma que sigan todos los motores.

El desmontaje del cigüeñal se completa quitando todas las bielas de las muñequillas y todos los semicojinetes de apoyo. También se tendrá que haber retirado la carcasa del retén de aceite y el volante de inercia que va sujeto mediante tornillos al cigüeñal para que esta pieza pueda salir libremente de su alojamiento.

Cuando el cigüeñal se desmonta es seguramente porque se sospecha en él alguna avería. Como ocurre con los cigüeñales de los motores de gasolina, cuando una de estas piezas ha hecho muchos kilómetros (o muchas horas de funcionamiento), y no digamos cuando se trata de reconstruir el motor, el cigüeñal hay que analizarlo a fondo, y más todavía si se han observado ruidos especiales en el fondo del motor durante su funcionamiento. La holgura axial de este árbol produce ruidos o golpes cuando el motor funciona en vacío y también se comportan del mismo modo los cojinetes de bancada cuando tienen juego excesivo debido a desgaste. En este caso el ruido se pone de manifiesto especialmente cuando el motor funciona con carga y a bajas vueltas. También un consumo excesivo de aceite puede darnos una pista del mal estado de los cojinetes, tanto del cigüeñal como de las cabezas de biela. En cualquier caso, si el cigüeñal ha sido desmontado es la ocasión para realizar en él los trabajos de verificación que son propios de estas piezas, y que en principio

no difieren de las comprobaciones que se han de llevar a cabo con los cigüeñales de los motores de gasolina. Así pues, hay que medir la excentricidad del giro del cigüeñal con la ayuda de un comparador y montada la pieza sobre dos V haciendo girar el árbol para ver si está dentro de las condiciones de funcionamiento que permitan su aprovechamiento. También es preciso medir con un micrómetro los valores del diámetro de las muñequillas para ver si se mantienen dentro de las mediciones de tolerancia que el fabricante aconseja para estas zonas.

De todas estas mediciones sale la conclusión de si el cigüeñal puede o no seguir trabajando en las mismas condiciones o si, por el contrario, hay que llevarlo a rectificar.

Aunque hoy en día es práctica corriente pasar todos los cigüeñales por un detector de grietas, conviene hacer hincapié de la necesidad de que en el caso de un cigüeñal Diesel esta práctica se lleve a cabo, pues es necesario estar muy seguros de que podrá funcionar sin problemas una vez montado de nuevo. No se olvide que estos cigüeñales están sometidos a mayores esfuerzos, a igualdad de cilindrada, que los cigüeñales de los motores de gasolina. Como es habitual conviene cerciorarse de que se haya desmagnetizado debidamente el cigüeñal después de haber sido pasado por la máquina detectora de grietas. También conviene no olvidar la importancia que presenta, después del rectificado, sacar los cantos vivos en los taladros de engrase. En cuanto a las dimensiones a que hay que trabajar en los muñones y las muñequillas, es decir, las dimensiones de rectificación para sacar las ovalizaciones posibles, constan en todos los *Manuales de Taller* de los motores en concreto, por lo que dependen de las medidas iniciales del dimensionado y, consecuentemente, de cada tipo de motor.

Montaje del cigüeñal en el motor

El montaje del cigüeñal requiere ciertos cuidados que vamos a sintetizar brevemente. Como operación previa resulta muy conveniente observar con atención el estado de los orificios de engrase tanto del cigüeñal mismo como los procedentes del bloque de cilindros. Estos conductos deben estar limpios y libres de obstrucciones. También es conveniente, como operación previa al montaje concreto del cigüeñal, observar con toda atención el estado de la tornillería de compromiso, constituida por los pernos de sujeción de los cojinetes de apoyo y también de los sombreretes de las bielas. Debe mirarse con toda atención que no hayan grietas ni rozaduras anormales, ni que estén dañados en la rosca o en otra parte de su cuerpo. Como es natural en estos casos, todos los fabricantes aconsejan siempre el uso de los tornillos originales de fábrica ya que éstos han sido sometidos a las pruebas necesarias para dejar bien claro que su resistencia esté de acuerdo con los esfuerzos a que puede ser sometido en el motor, garantía que no se tiene con tornillería no homologada por la fábrica. A veces, un tornillo de muy buen aspecto puede estar fabricado con aceros de menor calidad o con un templado que no reúna las condiciones que el fabricante exige según el proyecto del motor.

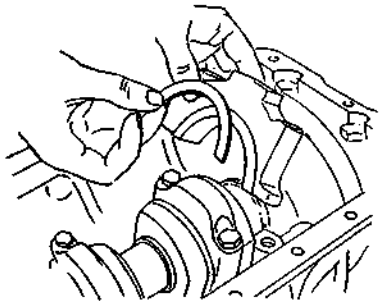


Figura 36. Desmontaje de las arandelas de empuje de los cojinetes extremos del cigüeñal.

Una vez resueltas estas pequeñas cuestiones se pasa a limpiar cuidadosamente los alojamientos de los cojinetes de bancada y se coloca en ellos los semicojinetes superiores perfectamente encajados y lubricados con aceite del motor de manera abundante.

Una vez realizado todo lo anterior ya se puede proceder a colocar el cigüeñal de modo que cada uno de sus muñones encaje con los semicojinetes de apoyo. Conviene entonces lubricar generosamente estos muñones que quedan al descubierto a falta del semicojinete que les hace de tapa. Acto seguido, se colocan éstos conservando siempre sus posiciones relativas para dejarlos en la misma exacta posición en que estaban antes del desmontaje. Llegado el punto en que hay que colocar las semiarandelas de ajuste, que ya señalamos en la pasada figura 36, éstas han de ser colocadas en el apoyo correspondiente durante el montaje de este semicojinete y han de tener el mismo exacto espesor que las semiarandelas que ya colocamos en el semicojinete superior.

Después de colocar los semicojinetes debidamente encarados, hay que proceder a colocar los pernos para la sujeción de estas piezas. Ya hemos hablado de la importancia de los tornillos. Conviene en todos los casos sustituir las arandelas de seguridad que estos tornillos llevan para hacer imposible su afloje. Estos tornillos han de ser apretados con llave dinamométrica para que reciban la fuerza de par de torsión adecuada de acuerdo con los esfuerzos que han de soportar y con el diámetro de su cuerpo. Los valores de par de torsión aplicables están dados por el fabricante en los datos técnicos de taller de cada motor. Una vez apretados deberán trabarse con la arandela de seguridad, tal como se aprecia en la figura 35 pasada si llevan este sistema, o por medio de pasador si es ésta la forma adoptada en su diseño.

Una vez realizado este trabajo, la operación siguiente ha de consistir en verificar la holgura longitudinal del cigüeñal o sea su juego axial que vimos viene regulado por las semiarandelas de empuje. Esta verificación puede realizarse por medio de un comparador o bien con un juego de galgas de espe-

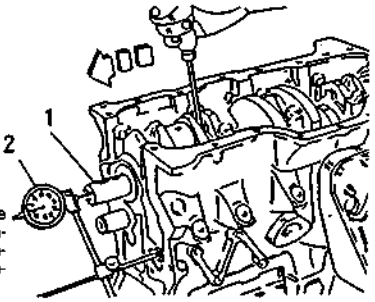


Figura 37. Comprobación del juego axial de un cigüeñal con la ayuda de un comparador y haciendo palanca con un destornillador. 1, extremo del cigüeñal. 2, comparador.

sorès. La forma más segura la tenemos en la figura 37. Se monta el comparador en el bloque de cilindros de modo que el palpador del aparato de medida se ponga en contacto con el extremo del cigüeñal (1). En esta posición se coloca el indicador del comparador a cero (2) y con un destornillador se hace palanca entre el semicojinete de apoyo ya montado (que resulta así una pieza fija) y uno de los muñones del cigüeñal, en el sentido que la flecha de esta misma figura indica. De este modo el cigüeñal sufrirá un ligerísimo desplazamiento que la aguja del indicador delatará.

El valor de la holgura longitudinal del cigüeñal tiene importancia para evitar vibraciones y para el perfecto asentado del árbol a sus apoyos lo que facilita el mejor centrado de las bielas con respecto a sus émbolos respectivos. Suele ser de unas centésimas a 3 o 4 décimas de mm, según el tamaño del motor. En los motores pequeños de automóvil, el motor Diesel acostumbra a tener valores que se encuentran entre los 0,05 a los 0,30 mm pero el resultado correcto hay que consultarlo con el fabricante o con el manual del motor. En caso de que el huelgo sea incorrecto hay que acudir a suplementar con semiarandelas de empuje de mayor grosor que se encuentran generalmente en el apoyo central del cigüeñal.

Como se ha dicho anteriormente esta misma operación también puede ser realizada con la ayuda de galgas de espesores comprobando con ellas el juego del modo que muestra la figura 38. Sin embargo es más recomendable el uso del comparador, tal como hemos descrito anteriormente.

Cuando se está seguro de que el juego entra dentro de los valores correctos ya se puede proceder al montaje de las bielas de cada uno de los cilindros teniendo las precauciones que sobre este montaje se indicaron en el apartado correspondiente.

El paso siguiente va a consistir en proceder al montaje de las piezas-puente de los cojinetes extremos del cigüeñal, tal como se indica en la figura 39. La pieza-puente establece en muchos motores la resistencia suficiente para

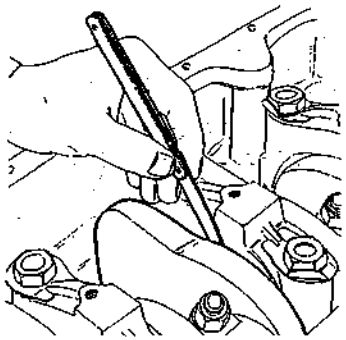


Figura 38. Comprobación del huelgo del cigüeñal con galgas de espesores.

que el bloque de cilindros no se debilite por la parte donde va colocado el cigüeñal. Su colocación requiere algún cuidado para que se ajuste debidamente en el bloque de cilindros. Por ello es conveniente comprobar que la pieza-puente quede perfectamente enrasada con la superficie del bloque tal como muestra un dibujo de la citada figura 39. Como aquí puede verse, esta comprobación se puede realizar con un pie de rey en la zona de su regla. En algu-

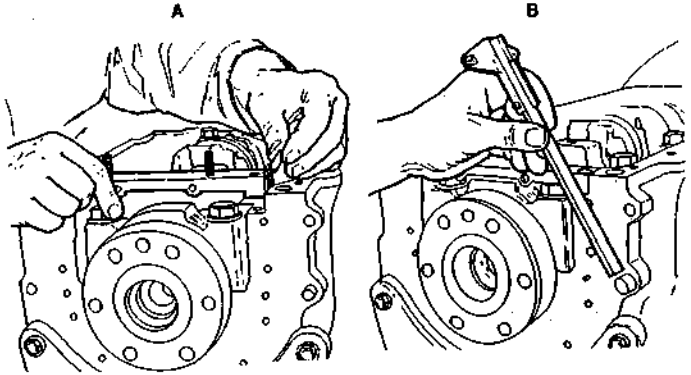


Figura 39. Dos fases del montaje de la pieza-puente del cojinete principal. En A, colocación de la pieza-puente y en B comprobación de su alineación con la ayuda de un pie de rey.

nos tipos diferentes de motores ligeros los semicojinetes inferiores de apoyo de los extremos del árbol cigüeñal hacen las veces de pieza-puente para dar rigidez al bloque. En este caso hay que ir con cuidado en el momento de la colocación de esta pieza que requiere un utillaje especial para su montaje sobre el muñón del árbol.

Con esto damos por terminada esta exposición sobre el cigüeñal de los motores Diesel rápidos aplicados a los automóviles. Por supuesto hay también otros trabajos que son propios a la vez de los motores de gasolina, tales como la comprobación del huelgo de los cojinetes (operación que se realiza con galgas plásticos, del tipo *plastigage*) para conocer que el desgaste sea todavía tolerable por el motor; los trabajos de sustitución de los cojinetes de antifricción, equilibrado, etcétera, son trabajos, en general, iguales a los que se llevan a cabo con los motores de explosión en esta parte del motor. Pasemos pues a otro tema.

El volante

En la pasada figura 22, en la que se mostraba todo el conjunto de un tren alternativo de motor Diesel, ya tuvimos ocasión de ver el volante señalado allí con el número 4. Como es sabido esta pieza tiene por objeto almacenar energía y cederla regularizando el giro del cigüeñal que viene determinado por los tiempos de expansión, que son los tiempos motrices del ciclo. Es pues una pieza que facilita el giro regular del motor y elimina vibraciones además de facilitar la puesta en marcha. Ahora bien: para que ello se cumpla el volante debe hallarse perfectamente equilibrado, condición que, al igual que acontece con el cigüeñal, tiene la mayor importancia en todas las piezas girantes. Piénsese que en estos motores que pueden alcanzar las 5.000 r/min los valores de un peso irregular colocado en alguna parte contraria de las partes que giran puede engendrar fuerzas enormes cuando el motor funciona a un elevado régimen. Un peso de sólo 200 gramos colocado en un eje que gire a 3.000 r/min con un radio de 50 cm ejerce en el centro del eje una fuerza de desequilibrio de una tonelada. Para evitar estos inconvenientes el volante debe hallarse perfectamente alineado, y esto es lo que hay que tener en cuenta durante los trabajos de su montaje.

El volante puede tener que desmontarse para la sustitución de la corona dentada exterior a través de la cual se produce el accionamiento del motor durante la puesta en marcha por los sistemas eléctricos conocidos, es decir, el uso del motor de arranque. Cuando algunos de los dientes de la corona sufren rotura o algún tipo de desgaste o coronamiento ha llegado el momento en que hay que actuar en el sentido de sustituir esta pieza. Para ello hay que proceder a desmontar el volante.

Trabajos con el volante

Al desmontar el cigüeñal del modo que hemos visto en el apartado anterior nos fue preciso el desmontaje previo del volante; pero para cambiar la

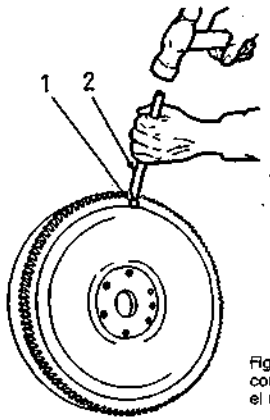


Figura 40. Rotura de la corona dentada con la ayuda de un cortafríos (2). Previamente se habrá realizado un taladro en el material de la corona para facilitar su corte. 1, taladro.

corona, por ejemplo, no es necesario el desmontaje del cigüeñal. Aquí ocurre del mismo modo que pasa en los motores de gasolina. Para desmontar el volante independientemente del tren alternativo, hay que sacar la caja de cambio de velocidades y el embrague. Luego ya se pueden enderezar las arandelas de seguridad o sus pasadores y se puede pasar a aflojar cada uno de los tornillos que lo fijan al soporte de salida del cigüeñal, los cuales suelen ser seis u ocho tornillos, según el diseño del motor.

Resulta conveniente no retirar del todo los tornillos hasta colocar dos guías por medio de las cuales se asegure que el volante no nos va a caer. Luego ya se puede sacar el cojinete guía del embrague y retirar el conjunto del volante con su corona dentada.

Para sustituir la corona dentada del volante se procede de la siguiente forma: En primer lugar se practica un taladro por debajo de un entrediente con una broca pequeña, de unos 8 mm de diámetro, y luego se repasa de nuevo con otra broca de unos 12 mm de diámetro según el espacio disponible y no afectando en ningún momento al material propio del volante sino al de la corona dentada. Esto es lo que se ve en la figura 40 que nos vale para llevar a cabo esta explicación. La rotura de la corona se lleva a cabo con un cortafríos. El orificio efectuado por el taladro (1) se ha de poder cortar fácilmente con el cortafríos (2) porque la pared que ha quedado después del taladro ha de ser ya muy fina. Una vez partida la corona de esta manera su salida ya no ofrecerá problemas.

Para el montaje de una nueva corona hay que proceder al sistema del calentamiento de la misma tal como es tradicional para anclar muchas piezas

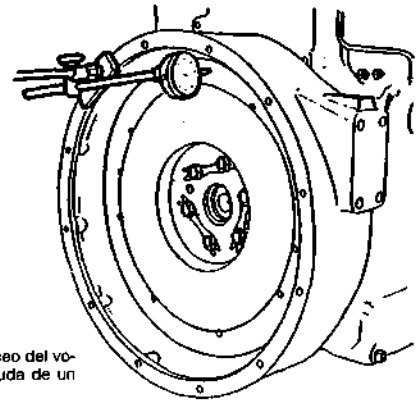


Figura 41. Comprobación del cabeceo del volante, una vez montado, con la ayuda de un comparador.

de este tipo y resulta práctica corriente en el taller. La temperatura que ha de adquirir la corona dentada depende muchas veces de su masa, pero en líneas generales ha de estar por encima de los 200 °C para que su dilatación adquiera un valor suficiente para poder entrar en la periferia del volante con cierta facilidad. Una vez la corona haya encajado bien en su ranura de ubicación se tendrá que esperar unos momentos hasta que se enfríe: al contraerse se ajusta sobre su aro y queda anclada en esta posición. Después de ello, ya se puede pasar al montaje del volante de nuevo sobre su ubicación habitual en el extremo del cigüeñal.

El montaje del volante se efectúa de modo inverso. Se colocan los tornillos de sujeción con sus correspondientes arandelas autoblocantes o de seguridad y con llave dinamométrica se aprietan al par de apriete recomendado. La operación importante consistirá en la alineación de esta pieza móvil, operación que es necesario realizar con la ayuda de un comparador.

En la figura 41 se puede ver el montaje de un comparador sobre la superficie más exterior del volante. Obsérvese cómo el soporte del comparador se halla fijado en los orificios fijos de la carcasa. El reloj se ajusta de tal modo que el palpador quede en contacto con la periferia del volante. En estas condiciones se hace girar el cigüeñal y se comprueba la lectura total del siguiente modo: Se hace girar el volante lentamente hasta conseguir el punto en el que el comparador marca la medida más baja. Entonces se pone a cero el reloj, en este punto, y luego se hace girar de nuevo una vuelta completa hasta conseguir el valor más alto observado. La diferencia debe mantenerse alrededor de 0,10 mm y no superar los 0,20 mm salvo indicación al contrario por parte

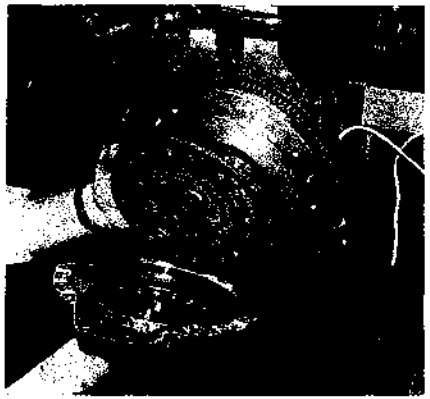


Figura 42. Conjunto del volante, plato de embrague y plato de presión de un motor Diesel.

del fabricante. En general, las dos décimas corresponden ya a volantes de motores de las mayores cilindradas para automóvil ya que a mayor diámetro del volante, mayor puede ser la tolerancia aceptable; pero en los motores más pequeños no se suele tolerar pasar de una décima en la alineación de esta pieza. Como quiera que, sin embargo, esta medición tal como puede deducirse de la propia figura 41 que hemos presentado últimamente, depende de la situación que el palpador ocupe con respecto al volante, es decir, será tanto más acusada cuanto más alejada se halla del mismo centro de giro, se suele dar una regla empírica que consiste en calcular como tolerable un cabeceo del volante que esté dentro de los 0,025 mm por cada 25 mm de alejamiento del centro en el radio del volante. De este modo, si la medición se efectúa a una distancia del centro de $25 \times 3 = 75$ mm deberá dar un resultado de: $0{,}025 \times 3 = 0{,}075$; y si la toma de medida se hace a una distancia del centro de $25 \times 4 = 100$ mm, de igual modo la medición puede dar $0{,}025 \times 4 = 0{,}10$ mm. Como se ve, cada vez que nos alejamos del centro de giro aumenta el valor de la oscilación.

Durante estas pruebas de comprobación de la alineación del volante hay que cuidar de que la limpieza de la superficie sea muy buena porque es evidente que suciedad adherida al acero de la superficie así como rebabas o grietas superficiales producidas por golpes ofrecerán defectos en la lectura del comparador.

Como es habitual en estos motores, una vez montado debidamente el volante ya se puede proceder a la colocación de los mecanismos del embrague. En la figura 42 podemos ver este conjunto perteneciente a un motor Diesel ligero de gran popularidad. En lo que respecta al embrague, no vamos a ocuparnos de él por ser del mismo tipo que los utilizados en los motores de gasolina y no presentar variantes en lo que a su reparación se refiere.

Con lo dicho hasta aquí damos por terminado lo relativo a los órganos móviles principales, y vamos a pasar al estudio de los llamados órganos auxiliares que componen la tercera parte de este estudio sobre la estructura del motor Diesel siguiendo el programa que propusimos al principio de este capítulo.

Organos auxiliares

Entendemos por órganos auxiliares el resto de los órganos que componen un motor Diesel, sin que ello quiera decir que estos órganos son menos importantes que los estudiados anteriormente. De hecho, en un motor no existen piezas superfluas de modo que cualquiera de sus elementos tiene una importancia vital para el desarrollo del conjunto. De todos modos, vamos a encontrarnos en este grupo con conjuntos sin los cuales el funcionamiento de un motor Diesel sería del todo imposible a pesar de la existencia de los demás órganos estudiados en los grupos anteriores. Tal es el caso de la distribución o de la inyección, mecanismos de primordial importancia para el funcionamiento de todos los demás elementos, y que se hallan catalogados en esta clasificación.

En los motores de automóvil provistos de motores Diesel tanto el embrague como el cambio de velocidades no sufren prácticamente cambios que afecten al modo como un mecánico de motores de gasolina los ha de tratar en el sentido de su reparación. De igual modo ocurre con las transmisiones, diferencial, mecanismos de tracción (paliers) etcétera; con las suspensiones, dirección, ruedas, etcétera, el automóvil mantiene las mismas condiciones a que estaba sometido con el motor de gasolina. Es lógico pues que de estos temas no nos ocupemos ya que, entre otras cosas, está ampliamente tratado en otros tomos de esta misma Enciclopedia y porque nuestro objetivo consiste en orientar a los mecánicos de automóviles, acostumbrados a trabajar con los motores de explosión, en las cosas que varían con respecto al motor Diesel. En este sentido todos estos conjuntos fundamentales del automóvil no van a ser tratados en este libro.

En lo que respecta a los órganos auxiliares entendemos que están compuestos por los siguientes conjuntos:

Distribución.
Refrigeración.
Colectores.
Sistema de inyección.
Sistema eléctrico de arranque.

En esta última parte de este capítulo vamos a referirnos exclusivamente a los tres primeros conjuntos mencionados en los que todavía se guarda cierto

paralelismo con respecto a los conjuntos del mismo nombre que se instalan en los motores de gasolina. Pero no ocurre lo mismo, por supuesto, con el sistema de inyección que resulta del todo original incluso comparado con el mismo sistema de inyección de gasolina que algunos motores Otto llevan incorporado. El estudio de todo el sistema de inyección así como el comportamiento del nuevo combustible que es típico en los motores Diesel, será objeto de varios capítulos próximos ya que merece por sí solo una gran atención.

También el sistema eléctrico de arranque presenta características del todo originales ya que las cámaras de combustión es preciso calentarlas previamente cuando se trata de una puesta en marcha en frío pues, al producirse el encendido del combustible por medio de la elevada temperatura del aire, si ésta se efectúa por compresión y se parte de un aire muy frío con una cámara muy fría, que absorbe rápidamente el calor generado, es lógico que existan grandes dificultades para conseguir prender las primeras pistonadas. El motor Diesel de los automóviles no ha de proporcionar problemas a la hora del arranque al usuario de un automóvil que no está acostumbrado a tenerlos con los motores de gasolina mucho más fáciles de poner en marcha, de modo que estos motores ligeros disponen de un servicio de precalentamiento de la cámara de combustión que actúa por procedimientos eléctricos y del modo que ya veremos en el capítulo 11.

De acuerdo con todo lo dicho vamos a tratar este tema de los órganos auxiliares estudiando las tres partes siguientes solamente en lo que nos queda de este capítulo:

- La distribución
- La refrigeración
- Los colectores

Pasemos al estudio de cada uno de estos temas por separado.

La distribución

Como es sabido, la distribución está compuesta por el conjunto de válvulas y todos sus mecanismos necesarios para hacer posible la circulación de los gases a través de la cámara de combustión, admitiendo, deteniendo y expulsando los gases en cada uno de los momentos de su transformación de energía, de acuerdo con las necesidades del ciclo. En el caso de los motores de cuatro tiempos, cuyo funcionamiento teórico ya estudiamos con atención en el primer capítulo de esta obra, esta circulación no solamente está realizada por las válvulas que están en contacto con la cámara de combustión sino que para que se produzca la debida sincronía en el funcionamiento de las mismas existe un complejo automatismo que viene regido por el propio cigüeñal: según la posición de los grados de giro del cigüeñal se determina la situación de cada una de las válvulas en cada una de las cámaras de combustión. El árbol intermediario que logra que esta situación sea posible recibe el nombre de *eje de levas*.

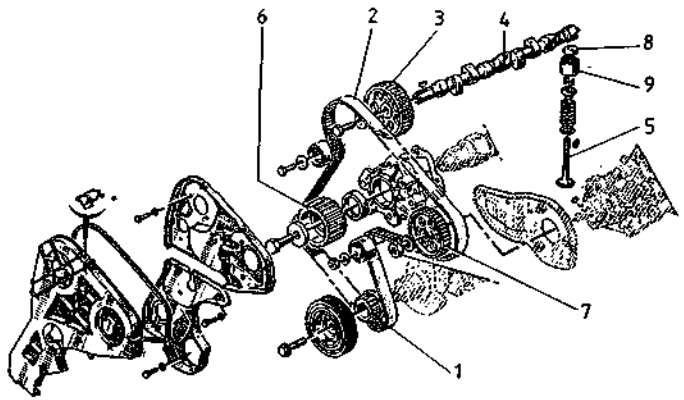


Figura 43. Despiezo de un conjunto de distribucón de un motor Diesel. 1, piñón de salida del cigüeñal. 2, correa dentada de arrastre. 3, rueda de arrastre del eje de levas. 4. 5, válvula. 6, rueda de arrastre de la bomba de aceite. 7, rueda de arrastre de la bomba de inyección. 8, suplemento de reglaje de la holgura de válvula. 9, alzaválvulas.

Hasta aquí la descripción de la distribución puede ser igual para un motor Diesel o para un motor de gasolina. El conjunto que vemos en la figura 43, correspondiente en este caso al motor Diesel de 1.596 cm^3 que equipa a los RENAULT, modelo *R-9* y *R-11*, puede confundirse, a primera vista, con los órganos de la distribución de un motor de gasolina. Sin embargo, la distribución del motor Diesel presenta algunas particularidades diferentes y propias con respecto al motor de explosión entre los que cabe destacar el sistema de arrastre. En efecto: En la figura 43 citada vemos que existe la rueda dentada de salida del cigüeñal (1) la cual moverá la correa dentada (2) y por mediación de ello se moverá la rueda (3) que enchavetada al eje de levas (4) determinará el movimiento de este árbol y en su giro, el de las válvulas (5). En 6 nos encontramos, en este motor en concreto, con la rueda dentada que moverá la bomba de aceite, pero en 7 existe una nueva rueda dentada cuya función es de primordial importancia ya que se trata de la polea de arrastre de la bomba de inyección. Como veremos en su capítulo correspondiente, y ahora vamos a tratar solamente de pasada, la bomba de inyección requiere conseguir altas presiones para poder inyectar cantidades de combustible tan pequeñas como unos miligramos dentro de una cámara de combustión en la que el aire se halla altamente comprimido a valores que se pueden establecer como alrededor de los 50 kg/cm^2. Para ello necesita estar provisto de presiones muy superiores, por supuesto, que pueden hallarse entre los 200 a 300 kg/cm^2 o

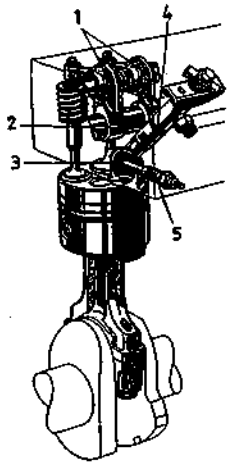


Figura 44. Disposición típica de la distribución sobre un cilindro de un motor Diesel para automóvil. En este caso se trata de un motor de la marca RENAULT. 1, balancines. 2, eje de levas. 3, antecámara de combustión. 4, inyector. 5, bujía de precalentamiento.

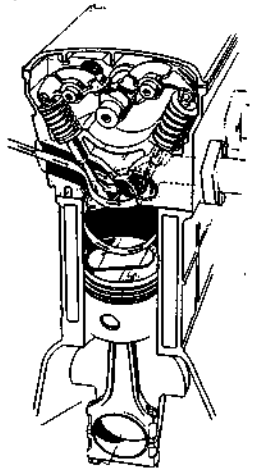


Figura 45. Disposición de las válvulas de un motor de explosión con un árbol de levas central en culata.

más en según qué motores. Estas altas presiones las ha de conseguir la bomba pero la energía para que las consiga se las ha de proporcionar el cigüeñal a través de la correa dentada y de la rueda de arrastre que hemos visto dibujada en 7 de la figura 43.

El sistema de arrastre de todo este conjunto es, pues, una de las principales diferencias en el motor Diesel así como la doble sincronización que van a precisar el eje de levas y la bomba de inyección. Durante mucho tiempo, este sistema de arrastre se llevó a cabo por engranajes o por cadenas. El primer sistema hubo de abandonarse en los motores para automóvil ya que requerían que el eje de levas no estuviera en culata (pues de otro modo se precisaban demasiados engranajes intermediarios) y en los motores Diesel rápidos se utiliza universalmente la colocación del eje de levas en culata. En cuanto al arrastre por cadena todavía es utilizado por algunas marcas, y un ejemplo de él lo vimos en la pasada figura 8 del capítulo 2 cuando presentábamos el dibujo de un motor MERCEDES-BENZ. Pero el sistema más corriente por hoy, heredado sin duda del motor de explosión, es la utilización de correas dentadas del estilo de la que vemos dibujada en la figura 43. La ventaja fundamental de esta correa es su ausencia de ruido en comparación con las cadenas, ya sean de rodillos o de *tipo morse*, que se han de usar en los otros sistemas de arrastre, además de su menor precio y de una larga vida de utilización gracias al material plástico de que está compuesta. Por otra parte pesa bastante menos y no necesita engrase, dos ventajas también muy apetecibles.

Otra diferencia entre el motor Diesel y el motor de gasolina lo vamos a encontrar en la disposición de las válvulas y, por lo tanto, en algunos aspectos de la culata que comentaremos muy pronto. Una disposición muy típica de los motores Diesel para automóvil en lo que respecta a la distribución se puede ver en la figura 44. Las válvulas perpendiculares al émbolo y accionadas por balancines (1) desde un eje de levas en culata (2) situado en el centro del motor. En la parte opuesta a las válvulas encontramos la cámara de combustión (3) del sistema de combustión indirecta llamado tipo Ricardo, a cuyo interior acceden el inyector (4) y la bujía de precalentamiento (5) para el momeno del arranque. Una disposición semejante a ésta, aunque es posible en el motor de gasolina (sustituyendo, por supuesto, la cámara de combustión y el inyector) resultaría muy poco corriente en los motores de explosión actuales en los que se tiende preferentemente a la colocación de las válvulas a uno y otro lado del émbolo, del modo que se ve en la figura 45, para conseguir con ello formas más esféricas de las cámaras y una mejor turbulencia de la entrada de la mezcla en sus flujos de circulación además de la separación de los colectores de admisión con respecto a los de escape. Otra diferencia que puede encontrarse en este aspecto se halla en las culatas que en los motores de gasolina llevan incorporadas las cámaras de combustión de gran tamaño en comparación con las cámaras Diesel y dentro de las cuales se hallan las válvulas. Las culatas de los motores Diesel, tal como las vimos en la pasada figura 8, son prácticamente planas. Todo ello ofrece algunas diferencias a la hora de trabajar con estas piezas que si bien no son muy importantes las comentaremos acto seguido con todas las variantes que existen al respecto. Vayamos pues a ello.

Trabajos en la distribución

Los componentes de la distribución se hallan ubicados en la culata como es sabido. El desmontaje de la culata requiere la desconexión de conductos, conexiones y aparatos a ella adosados que hay que llevar a cabo previamente para poder tener acceso al desmontaje de toda la pieza. Como resulta habitual en estos casos se tendrá que vaciar el líquido de la refrigeración y desconectar los manguitos de este circuito. Se tendrán que desconectar las tomas eléctricas de toma de la temperatura de la culata. También se tendrán que desmontar los inyectores con sus tubos de combustible (Fig. 46) y los colectores de admisión y escape que se hallan en una sola parte del motor.

Pueden existir además otros elementos que será necesario retirar de la culata según el diseño del motor y la disposición que del mismo haya hecho

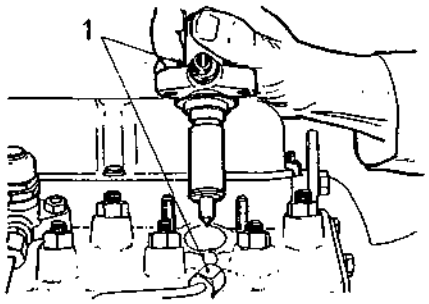


Figura 46. Desmontando un inyector del motor, después de haber desmontado su conexión al tubo de impulsión (1).

el fabricante. Si se trata de un motor sobrealimentado por turbocompresor se tendrá que proceder al desmontaje de este dispositivo pues de otro modo no se podría retirar la culata. También pueden existir tubos de engrase para llevar el aceite a los balancines, algún cable de masa de la batería para asegurar el circuito de las bujías de precalentamiento, la polea de la bomba de agua y, por supuesto, la conexión del arrastre de la rueda de accionamiento del eje de levas, todo lo cual deberá ser retirado antes de proceder al desmontaje total de la culata.

Una vez retiradas todas estas piezas y desconectados otros elementos ya se puede proceder a retirar la tapa de balancines, debajo de la cual nos vamos a encontrar con el eje de balancines o bien con el propio eje de levas según la disposición del motor.

En los motores de camión, en los que el eje de levas suele estar colocado en el bloque y el accionamiento de los balancines se hace por medio de empujadores (tal disposición se utilizó también mucho en los motores de automóvil de explosión antiguos) para desmontar la culata es preciso desmontar el eje de balancines. En los motores modernos que tienen el eje de levas en culata no hace falta este desmontaje previo para sacar la pieza. Nos quedarán a la vista todos los tornillos de fijación de la culata que deberemos ir retirando del modo habitual, es decir, en orden inverso al utilizado en el apriete que, como es sabido, parte del centro de la culata hacia los extremos. Para el desmontaje tendremos que actuar aflojando los tornillos de los extremos en primer lugar, y luego los más interiores hasta llegar a los del centro.

Todo lo descrito hasta aquí rápida y brevemente, no presenta sustanciales diferencias respecto a como se lleva a cabo esta operación con los motores de gasolina, y salvo el hecho concreto del desmontaje de los inyectores y de sus conductos, no existen aquí cosas particulares sobre las que un mecánico especializado en motores de gasolina vaya a tener especiales dificultades. Por el

contrario, puede encontrarse incluso con culatas como la mostrada en la figura 47, perteneciente al mismo motor RENAULT que vimos en el despiezo de la distribución de la figura 43. Aquí el eje de levas actúa directamente sobre las mismas válvulas sin la intervención de balancines, técnica ésta típica de los motores de gasolina muy revolucionados. El reglaje de la holgura de válvulas, en estos motores, se lleva a cabo por medio de suplementos o almohadillas que se colocan en una cazoleta o alzaválvulas, que en la figura 43 están señalados los primeros con el número 8 y las segundas con el número 9, del mismo modo a como se hace en los motores de gasolina que han adoptado este mismo sistema.

En la figura 47 se han señalado los números que indican el orden de apriete de los tornillos de sujeción de la culata.

Los trabajos que hay que llevar a cabo en los órganos de la distribución de la culata de un motor Diesel, tales como las válvulas y el estado de sus muelles, guías, asientos, etcétera, no difieren prácticamente de lo que hay que hacer en los motores de explosión para automóvil. Volviendo a la figura 47 tenemos que para el desmontaje de los órganos de la distribución se ha de retirar, en primer lugar, el propio eje de levas. Retirando los tornillos de sujeción de sus semicojinetes, que se hallan señalados con las letras S, tendremos acceso al desmontaje del eje. Debajo de él nos quedará a la vista el conjunto de las válvulas de las que podremos retirar los alzaválvulas y pasar a desmontar cada una de ellas por el procedimiento convencional de ayudarnos con un comprimidor de válvulas para tensar los muelles y poder extraer sin dificultad los semiconos de retención; luego, sacando el útil con cuidado podremos sacar los muelles y por debajo de la culata las válvulas, todo ello de una forma que es habitual en todos los motores.

En los motores que van provistos de eje de balancines se tendrá que desmontar éste para tener acceso al desmontaje de las válvulas, como resulta habitual también en los motores de gasolina.

En lo que respecta a las válvulas conviene hacer las verificaciones que

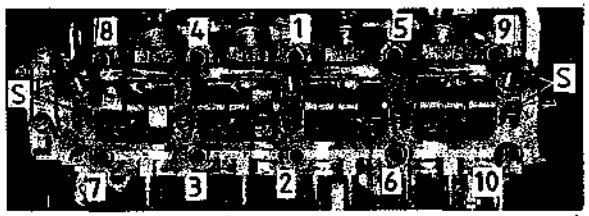


Figura 47. Culata mostrando la posición del eje de levas. Al sacar todos los tornillos de sujeción de los semicojinetes puede retirarse este eje. S, tornillos de los semicojinetes extremos. Hay que sacar igualmente todos los tornillos de los semicojinetes centrales.

son típicas en todos los motores de cuatro tiempos y que solamente vamos a enumerar. Tales son la comprobación del juego entre el vástago de la válvula, o la caña de la misma, y su guía, para ver si este valor está dentro de la tolerancia de funcionamiento aceptada por el mismo fabricante. También se deberá mirar el posible estado de excentricidad del vástago con la ayuda de un comparador haciendo girar la válvula sobre dos V.

En cuanto a los asientos de válvula deberán rectificarse con la misma técnica que resulta habitual en los motores de explosión. En el caso de que los asientos se encontraran muy dañados convendría cambiar estas piezas postizas y luego rectificarlas con muelas de diferentes ángulos, tal como se hace en estos casos para los motores de explosión y cuya técnica se ha descrito con todo cuidado en el libro *El Motor de Gasolina* de esta misma colección.

En lo que respecta a los muelles de válvula se tendrá que medir que su longitud libre se halle dentro de las normas de longitud aceptadas por el constructor. Como es sabido, un muelle fatigado y desgastado reduce su longitud y con ello se reduce también su fuerza. A partir de cierto límite de pérdida de longitud y de tensión el muelle ha de ser sustituido.

También los balancines deben ser examinados con atención en la cota del diámetro de su orificio central de sujeción al eje de balancines. Este diámetro debe hallarse dentro de las tolerancias dadas para su aprovechamiento por el fabricante. De igual modo se tendrá que revisar el orificio de engrase de los balancines para que no esté obturado total o parcialmente. Algunos balancines de motor Diesel van encasquillados. En este caso, y estando su diámetro fuera de la tolerancia, se puede seguir aprovechando el balancín con solo sustituir el casquillo, generalmente introducido a presión. En este caso, los nuevos casquillos tendrían que ser escariados para ponerlos a la medida exacta requerida por el eje.

Tampoco el montaje de la culata presenta en su mayoría diferencias sustanciales en lo que respecta a la distribución. En los ejes de levas en culata, antes de montar este eje se habrá comprobado que el desgaste de las levas se encuentre dentro de las tolerancias midiendo su vuelo con un micrómetro para controlar su desgaste y ver si puede seguir aprovechándose de acuerdo con lo estipulado en el *Libro de Taller* del motor en concreto. Del mismo modo habremos medido también el estado de posible ovalización del eje colocándolo entre dos bloques en V y con la ayuda de un micrómetro haciéndolo girar para ver hasta qué punto se halla ovalizado. Posteriormente, se tendrá que medir también la holgura de sus cojinetes de apoyo, operación que se realiza con galgas plásticas del tipo *plastigage*, de un modo muy parecido a como se indicó en los trabajos realizados por el cigüeñal para conocer el huelgo de sus cojinetes de apoyo. Todas estas operaciones son solamente mencionadas aquí de pasada ya que la descripción general y precisa de cada una de estas operaciones requeriría mucho espacio y, por otra parte, son las mismas que se deben llevar a cabo con los motores de gasolina de cuatro tiempos. Considerando al lector un conocedor de este motor vamos a dar por más adecuado omitir los detalles de cómo se deben llevar a cabo estas operaciones para disponer de más espacio que dedicaremos a todos aquellos

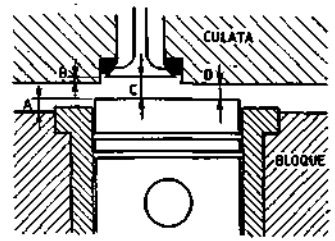


Figura 48. Cotas que hay que tener en cuenta para la colocación de la culata sobre el bloque.

puntos en los que el motor Diesel presenta diferencias con respecto al motor de gasolina para hacer hincapié en estos puntos con mayor atención.

Pues bien: en lo que respecta a la culata, en el motor Diesel hay que controlar los vuelos de émbolo y válvula para que se hallen dentro de las medidas toleradas. Una de las características fundamentales del motor Diesel es la alta relación de compresión a que somete el aire. Ello significa que el émbolo llega a lo alto del cilindro, muy próximo a la misma culata. Por otra parte, también hemos visto que ésta es prácticamente plana por la zona que cierra los cilindros, por lo que las válvulas, al levantarse, penetran en el interior de los cilindros.

En la figura 48 tenemos representada esta situación con las cotas de vuelo que es preciso tener en cuenta. Para efectuar la medición adecuada y cerciorarse de que los vuelos están en la cota correcta se debe proceder del siguiente modo; la culata está, por supuesto, desmontada pero la distribución completa en ella. En primer lugar hay que proceder a medir la cota A de todos los émbolos, para lo cual se le dan varias vueltas en el sentido de funcionamiento al cigüeñal y luego se coloca el émbolo número 1 en PMS y con un pie de rey se mide la cota A. Luego se hace sucesivamente de todos los demás émbolos por el orden correlativo. Supongamos que los valores proporcionados por esta medición sean los siguientes: Cilindro nº 1: 1,04 mm; cilindro nº 2: 1,07; cilindro nº 3: 1,05; cilindro nº 4: 1,04.

Con el resultado de esta medición sabemos que es el cilindro número 2 el que tiene un émbolo que sobresale más que en los otros y por lo tanto deberemos tomar como patrón este mismo émbolo. Su medida es pues, de 1,07 mm y corresponde a la cota A de la figura 48.

La junta de culata de este motor sabemos que tiene, una vez montada y con los pernos de la culata apretados al valor de su par de apriete recomendado, un espesor de 1,80 mm. Por lo tanto la cota A más la cota D deberá ser igual al resultado del grueso de la junta, es decir, 1,80 mm. Y la cota D deberá por lo tanto ser igual a 1,80 - 1,07 = 0,73 mm. Como que en este motor en concreto, el fabricante recomienda un vuelo mínimo de 0,60 mm. tenemos

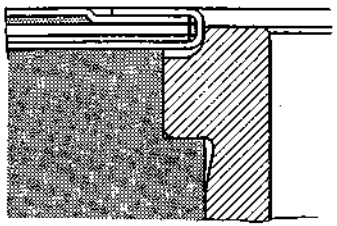


Figura 49. Colocación de la junta de culata de acuerdo con la posición de sus pliegues.

que, en lo que respecta al émbolo, la posición es correcta incluso para el más elevado.

Por otra parte también se tendrá que comprobar la situación de las válvulas tanto de admisión como de escape. Para esta comprobación podremos acudir a medir directamente las válvulas del cilindro que más se eleva, en el caso que nos ocupa nos referimos al cilindro número 2. La primera medición consistirá en averiguar cuál es la cota B. Medimos con un comparador y obtenemos los siguientes resultados: Válvula de admisión: 0,92 mm. Válvula de escape: 0,87 mm. Ante este resultado hemos de decidirnos por la medición de la cota que nos dé la medida más corta porque ello quiere decir que se encuentra más próxima al plano de la culata. De este modo adoptamos, como cota B, la medida de 0,87 mm. La cota C será, por otra parte, el resultado de sumar la cota B y la cota D; será pues el resultado de 0,73 + 0,87 = 1,60 mm distancia que se encuentra también dentro de la tolerancia exigida por este motor.

De lo dicho se puede sacar la conclusión de la importancia que tiene en estos motores Diesel el grosor de la junta de culata y también el par de apriete aplicado a los pernos de sujeción. Un apriete superior al requerido puede prensar demasiado la junta y modificar las condiciones de vuelo de las piezas móviles que hemos analizado. Por ello hay que usar siempre la llave dinamométrica regulada a los pares de apriete requeridos por la culata en concreto del motor con el que estamos trabajando. En cuanto a la junta de culata hay que estar seguros de que se trata de un material de recambio adecuado para el motor ya que más gruesa rebaja la relación de compresión y más fina puede ocasionar el tipo de males que hemos descrito.

Por otra parte, el montaje de la junta de culata requiere una especial atención sobre todo en los motores de camisas húmedas desmontables para que coincidan todos los orificios y se ajusten bien alrededor de las camisas. Se suele recomendar el cambio de la junta cada vez que la culata ha de desmontarse. Entonces la junta nueva se coloca con el reborde perfectamente adaptado en el alojamiento que se forma alrededor de la camisa, tal como se indica en la figura 49. Después de esta precaución ya se puede proceder al montaje

de la culata supuesta toda ella revisada y en lo que respecta a la distribución debidamente comprobada y en perfectas condiciones.

Montaje de la culata

El montaje de la culata requiere algunas precauciones especiales en el motor Diesel. En primer lugar resulta conveniente poner los émbolos del motor a mitad de su carrera para que no puedan dificultarnos el posicionado de la culata, ya que, como hemos visto, puede darse el caso de que los émbolos sobresalgan ligeramente por encima de la camisa. En segundo lugar, conviene poner la culata con la ayuda de dos personas para que se incorpore al bloque completamente plana sin apoyarla ladeada en ninguno de los cilindros. Una vez que se tenga la seguridad de que asienta correctamente en su posición se pasa a la colocación de los espárragos o de las tuercas, según el sistema, tomando la precaución previa de engrasar con aceite del motor los hilos de rosca de estos tornillos para facilitar su ajuste.

Al igual que ocurre con las culatas de los motores de gasolina, pero en los Diesel con mayor razón debido a las altas presiones que debe sostener, el apriete de los espárragos de sujeción de la culata debe realizarse en varias fases de apretado cada vez más a fondo. Para poner un ejemplo, veamos el caso de una culata de motor Diesel RENAULT que equipa a los modelos *R-18*, de 2.068 cm^3. El valor del par de apriete final de todos los tornillos de sujeción de la culata está determinado por el fabricante en 10,50 daN.m (lo que viene a representar unos 10,70 mkg.) La forma de proceder será pues, la siguiente: En primer lugar se apuntan los tornillos —o las tuercas— a mano y luego se comienza por el tornillo número 1 del orden de apriete que se halla generalmente en el mismo centro de la culata, y se coloca la llave dinamométrica en un valor de unos 3 daN.m apretando con este valor este tornillo hasta que la llave salte. A continuación se pasa, en las mismas condiciones, al apretado del tornillo número 2; luego del 3 y así sucesivamente hasta terminar esta primera ronda.

Acto seguido se inicia la segunda ronda. Para ello se coloca la llave dinamométrica a un valor de unos 5 daN.m y se vuelve a apretar el tornillo número 1 para pasar seguidamente al 2 y a todos los demás sucesivos. Por último ya se puede pasar a un apretado final con el valor máximo autorizado, actuando del mismo modo.

Como es sabido, el valor del par de apriete de los espárragos depende del grosor de los mismos por lo que los números que hemos puesto de ejemplo solamente deben aplicarse en el caso concreto del ejemplo. Mientras hay motores que necesitan valores que llegan hasta los 14 daN.m (generalmente motores de ya grandes cilindradas) los hay también que solamente precisan 7 daN.m de fuerza de apriete, o menos, en los motores más pequeños. Este dato lo proporciona el *Manual del Taller* del motor con el que trabajamos, tal como acontece con muchos datos de ajuste de este tipo.

A partir de aquí el montaje de todos los elementos que van anexos a la

culata ya puede llevarse a cabo. Pueden conectarse ya los inyectores con sus correspondientes arandelas nuevas asegurándose de que asienten en perfectas condiciones en sus orificios de ubicación en la culata; volver a montar los tubos de combustible de alta presión, los tubos de aireación sobre la tapa de la culata, el filtro de combustible y los tubos que van a la bomba de inyección, etcétera, etcétera, siguiendo el orden inverso al efectuado durante el desmontaje, como es habitual en estos casos. Posteriormente se montarán los colectores de admisión y escape y, en fin, todas las demás piezas con las que la culata se halla relacionada.

Después ya se puede rellenar el sistema de refrigeración, purgar el aire del sistema de combustible del modo que se explicará en la parte del capítulo 7 dedicada a este tema, hacer las conexiones eléctricas correspondientes, etcétera, y poner el motor en marcha.

Como en el caso de las culatas de los motores de explosión también aquí se tendrá que hacer un reapriete de la culata cuando haya llevado algunos kilómetros de funcionamiento para recuperar los huelgos que la junta haya podido ofrecer después de sucesivos calentamientos.

También el ajuste de la holgura de válvulas se deberá realizar en frío o en caliente según el tipo de motor y lo dicho al respecto por el fabricante. Para este ajuste (que, por otra parte, es igual al que se hace en las válvulas de las culatas de los motores de gasolina) damos más información en el capítulo 8 y en el apartado dedicado a la puesta a punto del motor Diesel.

Con esto damos por terminado este apartado dedicado a la distribución y a las diferencias que podemos encontrar en este aspecto entre el motor de gasolina y el motor Diesel ligero de automóvil.

La refrigeración

Aunque la refrigeración no es un tema que tenga en el motor Diesel mucha mayor importancia de la que tiene en el motor de gasolina, vamos a ocuparnos de ella para ver, por medio de una serie de figuras y algunas consideraciones, la forma cómo debe actuarse en ella en el motor Diesel. Se tratará pues de dar al lector una orientación sobre la disposición de los elementos que componen este circuito y de la necesidad general de cada uno de ellos.

Para empezar veamos, en la figura 50, un gráfico donde se relacionan las temperaturas obtenidas con los grados de giro del cigüeñal y cada uno de los tiempos de funcionamiento del ciclo de cuatro tiempos. Obsérvese que durante el encendido del gasóleo en virtud del gran calor desarrollado por la compresión del aire, y durante el principio de la expansión un motor puede estar muy próximo a los 2.000 °C bajando a menos de 200 °C en el momento de la entrada de aire fresco procedente de la atmósfera.

Un motor que no estuviera dotado de un sistema regulador de estos desequilibrios térmicos iría acumulando el calor en determinadas partes del motor tales como la cámara de combustión y los alrededores de la misma hasta un punto tal que el material de que están fabricadas perdería su dureza y su

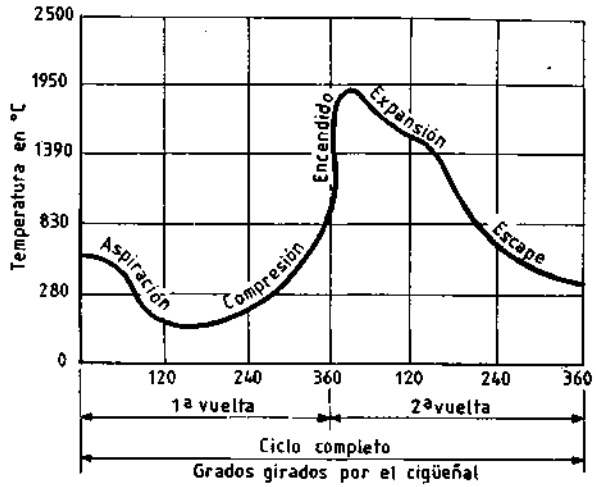


Figura 50. Gráfica de temperaturas durante el funcionamiento del motor.

resistencia al desgaste de modo que se deformarían. Ello ocasionaría la pérdida inmediata de su estanqueidad: las válvulas cerrarían mal, los émbolos también dejarían de ajustar con el cilindro y, como vemos, toda la teoría del funcionamiento del motor quedaría sin posible confirmación en la práctica porque de este modo un motor solamente podría funcionar unos minutos escasos.

Para evitar el mal que las elevadas temperaturas producen en los materiales con los que se fabrican los motores se procede a enfriar ciertas partes del motor que resulten ser las que acumulen mayor cantidad de calor. Estas partes son las paredes de la cámara de combustión y la salida de los gases de escape que, no obstante, se mantiene a una temperatura media de los 600 °C.

Para que podamos mantener las piezas en condiciones de servicio, pero a temperaturas tan altas como sea posible para evitar pérdidas inútiles de calor (que, como vimos al estudiar la parte de la Termodinámica, los gases de escape se llevan buena parte de la energía calorífica del combustible) se ha de proceder a crear un sistema de refrigeración que logre mantener las paredes de las cámaras de combustión a unos valores de calor que oscilen entre los 100 °C a los 200 °C lo cual quiere decir que el líquido refrigerante debe hallarse bastante por debajo de estos valores.

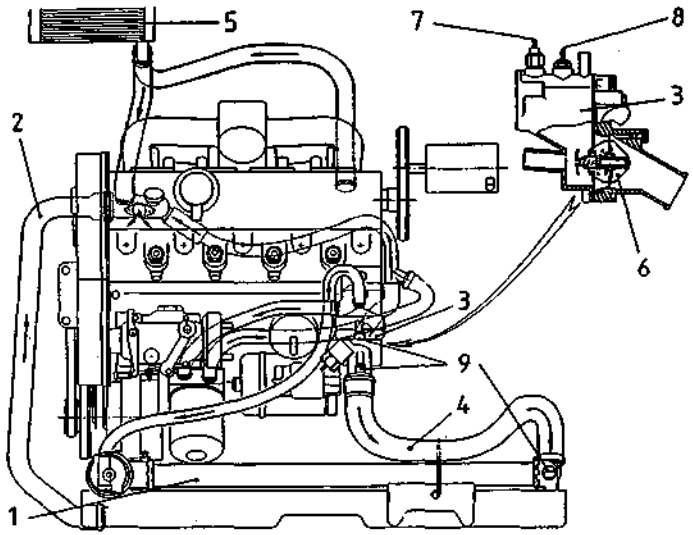


Figura 51. Circuito de refrigeración de un motor Diesel para automóvil. 1, radiador. 2, entrada del refrigerante al motor. 3, bomba de agua. 4, manguito de retorno. 5, radiador de climatización. 6, termostato. 7, termocontacto. 8, termocontacto de peligro. 9, tornillos de purga.

Existen diversos sistemas de refrigeración. Los aplicados a los motores son los de aire y los de agua. En los motores Diesel aplicados a los automóviles, el sistema universalmente adoptado por ahora es el de agua (o bien una mezcla de líquido refrigerante) que es también la fórmula adoptada más corrientemente con los motores de gasolina. El circuito, como es conocido, se compone de una bomba de agua, generalmente de tipo centrífugo, que fuerza al líquido a recorrer su paso a través de las paredes de las camisas de los cilindros y por el interior de la culata, a cuyo contacto se calienta durante el funcionamiento del circuito. El agua así calentada pasa a un radiador por medio del cual cede todo su calor acumulado en exceso a la atmósfera, de modo que vuelve a penetrar, nuevamente fría, al interior del motor, forzada siempre por el giro constante de la bomba.

En la figura 51 tenemos representado un circuito de refrigeración correspondiente a un motor Diesel de PEUGEOT, el modelo XUD 9, de 1.905 cm^3,

del que ya hemos hecho mención en varias partes diversas de este libro. En esta figura tenemos en 1 el radiador (téngase presente que esta figura muestra el motor y su colocación visto desde arriba, es decir, visto en picado). Desde el radiador el líquido refrigerante pasa a la parte baja del motor por el tubo 2, desde donde entra en los conductos del bloque y pasa a llenar los orificios internos de la culata. En 3 tenemos la bomba de agua que se halla detallada en el dibujo de al lado de la figura. Desde la bomba el agua, o líquido refrigerante, pasa de nuevo al radiador por medio del manguito de goma (4) formalizándose de este modo el circuito principal.

Al mismo tiempo podemos ver en la figura una cantidad de circuitos auxiliares. Así tenemos en 5 el radiador del calefactor interior del automóvil que se utiliza en invierno para calentar el interior del vehículo. También se puede ver en 6 la presencia del termostato, ubicado en la misma bomba de agua que, como en el caso de los motores de gasolina, se abre cuando la temperatura del líquido adquiere cierto valor para dar tiempo a que el motor se caliente inmediatamente después de su puesta en marcha en frío.

Otros elementos mostrados en la figura son los termocontactos (7 y 8) de control de la temperatura del agua. El primero (7) indica que la temperatura está llegando a unos valores superiores a los normales y hay que circular pendiente de que la temperatura del refrigerante no aumente; se trata pues, de una señal de alerta. El segundo (8) señala una temperatura de peligro que obliga al conductor a parar cuando la señal producida por este termocontacto llega al tablero de instrumentos. Por último, en 9 tenemos los grifos de purga del circuito de este motor.

Desde un punto de vista práctico tenemos en las figuras 52 y 53 los elementos principales que forman el circuito de refrigeración de un motor del tipo que estamos estudiando. En este caso perteneciente a un motor de la marca RENAULT. En la figura 52 vemos el despiezo de la zona del radiador y el vaso de expansión con todos los manguitos de goma correspondientes para la unión de este elemento a los conductos del motor y de la bomba.

En la figura 53 se muestra el detalle de las dos piezas fundamentales del sistema, las cuales son la bomba de agua (1) y el ventilador (2), este último para acelerar la corriente de aire a través del radiador y facilitar el enfriamiento del líquido al pasar por las celdillas de aquél. En la parte alta de la figura tenemos también la caja del termostato (3) a través de la cual circula el líquido si el termostato 4 está abierto. Por último, tenemos en 5 la polea de arrastre del ventilador.

Trabajos en el sistema de refrigeración

Los trabajos que hay que realizar en los órganos del sistema de refrigeración no son complicados y guardan, en general, mucho parecido con los trabajos que, en este mismo orden, hay que realizar con los sistemas de refrigeración de los motores de gasolina. Por ello vamos a describirlos brevemente.

Uno de ellos es el ajuste de la correa del ventilador (Fig. 54). Una correa que se haya estirado o que haya adquirido demasiada «flecha», de modo que

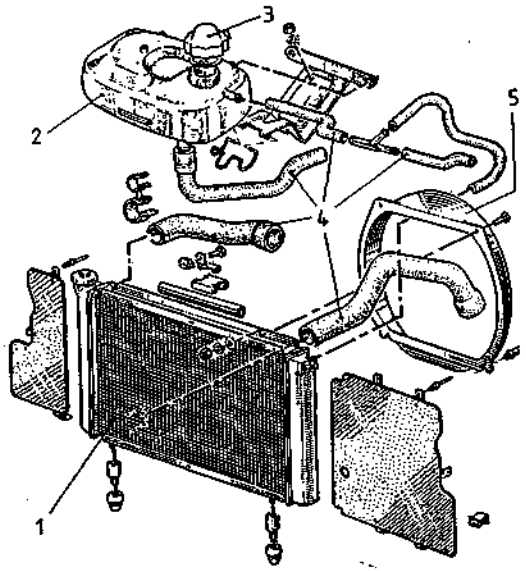
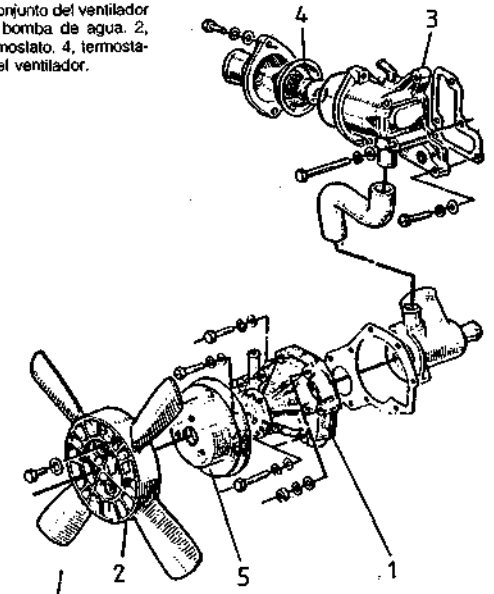


Figura 52. Despiezo del conjunto radiador y depósito de expansión con sus manguitos de goma. 1, radiador. 2, vaso de expansión. 3, tapón calibrado. 4, manguitos de circulación del refrigerante. 5, carcasa del ventilador.

esté floja, patinará al pasar por la garganta de las poleas y no producirá el arrastre debido. Hay que controlar que esté en buenas condiciones de colocación pues de otro modo el ventilador no girará al número de r/min calculadas por el constructor y podrá producir una corriente de aire insuficiente. En aquellos casos en que la bomba de agua se halla en el mismo eje que el ventilador, el defecto se transmitirá también a la bomba de agua por lo que el caudal de circulación será inferior y el motor podrá tener tendencia a calentarse. Una disposición como la mostrada en la figura 54 resulta bastante corriente: Desde la polea del cigüeñal (1) la correa pasa a dar movimiento a la polea del alternador y a la del ventilador. Este generador eléctrico hace las veces de tensor de esta correa gracias a sus tornillos de sujeción A y B en la figura. Aflojando estos tornillos y haciendo una suave palanca con el mismo cuerpo del alternador, se consigue desplazar la correa y tensarla. Cuando la correa quede tensa se vuelven a apretar los tornillos A y B y quedará la correa en

Figura 53. Despiezo del conjunto del ventilador y la bomba de agua. 1, bomba de agua. 2, ventilador. 3, caja del termostato. 4, termostato. 5, polea de arrastre del ventilador.



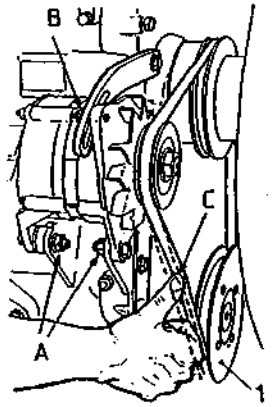


Figura 54. Forma de comprobar el tensado de la correa de arrastre en un motor Diesel PERKINS. 1, polea de arrastre, procedente del cigüeñal. A, tornillos de fijación y basculación del alternador. B, tornillo de anclaje. C, flecha de la correa.

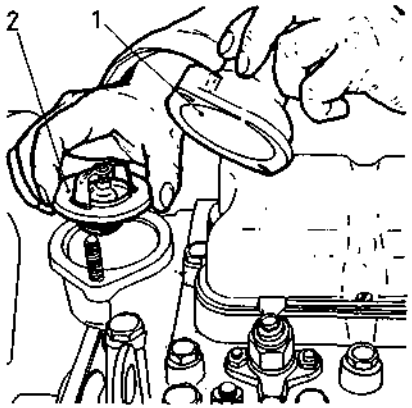


Figura 55. Retirando el termostato del interior del circuito de refrigeración. 1, pieza de cierre. 2, termostato.

condiciones de agarre. Sin embargo, no resulta conveniente que el tensado sea excesivo ya que ello, además de absorber más potencia, podría perjudicar y romper la correa, de modo que hay que comprobar con el dedo, del mismo modo que muestra la figura en cuestión, si la *flecha* de la correa está dentro de lo indicado por el constructor del motor. Esto se ve en C. Si se consigue con el dedo, en un punto medio del tramo comprendido entre las poleas del cigüeñal y del alternador, una deflexión máxima de 10 mm, puede considerarse que la posición de la correa es perfecta.

Otro de los trabajos posibles que a veces hay que llevar a cabo es la comprobación del estado del termostato que, de quedar siempre en posición de cortocircuito del conducto de la bomba, producirá el rápido y excesivo calentamiento del líquido refrigerante. Su desmontaje y comprobación se efectúa del siguiente modo:

En primer lugar se vacía el refrigerante del circuito y luego se desmonta el manguito en el que se halle el termostato que generalmente es el manguito que se halla conectado a la parte superior del radiador y lo pone en contacto con la bomba de agua. Una vez desmontado este manguito se deberá quitar el adaptador de la salida de agua con su junta. En la figura 55 vemos el momento de retirar el termostato. El adaptador de salida de agua (1) ha sido retirado y así nos queda a la vista el termostato (2) que puede sacarse sencillamente con la mano.

Para la verificación del termostato deberemos observar con atención la parte superior de la cara de este elemento pues en ella se indica la temperatura

a que el termostato se abre. Así que, conociendo esta temperatura bastará con sumergirlo en el agua fría de un recipiente puesto a calentar, y con la ayuda de un buen termómetro ir observando a intervalos frecuentes el momento en que el termostato se abre. En el momento que lo haga se comprueba por medio del termómetro si la temperatura coincide con la estampada en el cuerpo de la válvula. Si fuera el mismo valor el termostato no tiene la culpa del calentamiento; pero si hay diferencias, o el termostato no llega a abrir, se tendrá que sustituir por otro nuevo. Hay que destacar que este tipo de elementos no tiene reparación posible, por lo que ha de ser cambiado.

Por último, también cabe culpar a la bomba de agua de posibles fallos en la refrigeración del motor. Su desmontaje no es difícil aun cuando es preciso sacar algunos elementos previamente. En aquellos motores en los que el acceso a la bomba es más fácil hay que desmontar la correa de arrastre y el ventilador además de todas las conexiones de los manguitos que a través de la bomba se derivan a las diferentes partes del circuito. Una vez retirados todos estos elementos que rodean a la bomba, ya se pueden aflojar y retirar todos los tornillos que la unen al bloque y tirar de ella del modo que se aprecia en la figura 56.

Una vez la bomba fuera de su alojamiento su desmontaje requerirá la ayuda de un extractor adecuado a las dimensiones de la bomba para conseguir sacar la polea, operación que se está realizando y se muestra en la figura 57. Posteriormente ya se podrá sacar a presión, del cuerpo de la bomba, el eje completo con el impulsor o turbina y todos los retenes, rodamientos, etcétera, al igual que se hace en las bombas de agua de los motores de gasolina.

Una vez desmontada la bomba convendrá efectuar una atenta inspección de todas sus partes para ver si se halla en condiciones de seguir funcionando. Esta inspección deberá circunscribirse a los siguientes puntos:

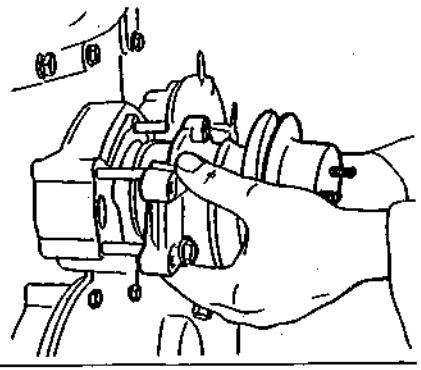


Figura 56. Forma de extraer la bomba de agua de su alojamiento en el motor.

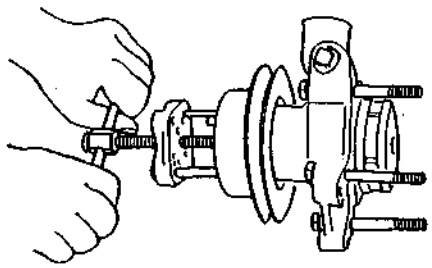


Figura 57. Extracción de la polea del ventilador con la ayuda de un extractor para tener acceso al desmontaje de la bomba de agua.

En primer lugar examinar si hay corrosión, grietas u otros daños en el cuerpo de la bomba. Luego examinar el desgaste del eje de mando, asegurándose de que el diámetro interior de los rodamientos esté montado perfectamente en el eje. A continuación quitar el óxido y sedimentos en la misma turbina y comprobar si existen corrosiones o bien desgastes excesivos, u otros daños. Ver también si los retenes han sufrido desgaste o daños, y, por último, verificar el estado de los cojinetes.

Por supuesto, se tendrán que sustituir todas aquellas piezas que no puedan pasar un examen razonable, y se podrá proceder ya al montaje de nuevo de la bomba de agua, cuidando con mucha atención el montaje del retén de agua con las caras grafitadas debidamente encaradas para evitar que puedan existir fugas posteriormente.

Para montar la bomba en el bloque de cilindros es recomendable siempre proceder a la sustitución de la junta por una nueva.

Para finalizar este mismo punto digamos, por último, que en muchos motores Diesel para automóvil la bomba de agua no es reparable, de modo que ante cualquier anomalía de funcionamiento observada hay que proceder a sustituirla del todo, técnica muy propia del motor de gasolina.

Y ahora vayamos al tema final de este capítulo.

Los colectores

Los motores Diesel para automóvil han de tener forzosamente una diferente disposición de los colectores ya que el ciclo resulta de un funcionamiento distinto, como se ha dicho. El colector de admisión, por ejemplo, no tiene necesidad de soportar al carburador y puede y debe estar en contacto directo con la atmósfera, situación que ya entraña una diferencia. Por otra parte, la disposición de la culata con las válvulas perpendiculares al cilindro hace que resulte más cómodo colocar los colectores de admisión y escape en la misma

parte del motor (en vez de en partes enfrentadas como resulta muy corriente en los motores de gasolina) de modo que tenemos también aquí otra diferencia. Aunque desde un punto de reparación o de trabajo de taller los colectores no van a dar gran trabajo al mecánico ya que, salvo la limpieza periódica del filtro, son piezas lo suficientemente robustas como para carecer de averías propias, vamos a ocuparnos brevemente de ellos ya que representan una diferencia estructural de un motor con respecto al otro y este es el objeto de nuestro capítulo.

En la figura 58 tenemos a la vista el conjunto de los colectores de un motor RENAULT de 1.596 cm^3. Como puede observarse, los tubos independientes del colector de admisión (1) se encajan entre los tubos del colector de escape (2) uniéndose a la culata por medio de un conjunto de orificios cuya disposición puede verse en la junta de culata (3). La proximidad de ambos colectores hace que se pueda producir un intercambio de calor entre el colector de escape, muy caliente por la corriente de gases quemados, y el colector de admisión que recibe la corriente de aire a la temperatura ambiente. Aunque este intercambio resulta muy rudimentario contribuye no obstante, al ligero calentamiento del aire lo que beneficia la temperatura que se ha de lograr al final de la compresión.

En la citada figura 58 vemos una pieza importante en este conjunto que está formada por el filtro de aire (4). En 5 vemos la tapa del filtro de aire que

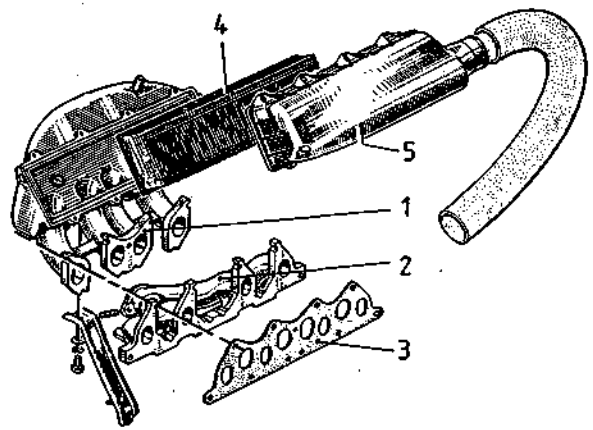


Figura 58. Conjunto de los colectores de un motor Diesel rápido. 1, colector de admisión. 2, colector de escape. 3, junta de estaqueidad. 4, filtro de aire. 5, tapa y caja de filtro de aire.

va atornillada sobre el colector de admisión, y aquí acaba este sencillo conjunto.

Los filtros de aire

Conviene profundizar un poco sobre el asunto de los filtros de aire porque tienen una gran importancia en el funcionamiento general del motor por las razones que ya se dirán. En primer lugar hay que tener en cuenta que en los vehículos que circulan por ciudad o carretera (y no digamos, por supuesto, por caminos polvorientos) la admisión de polvo junto con el aire presenta un problema bastante más importante de lo que pueda parecer a primera vista. Sabemos que un motor es, ante todo, un gran consumidor de aire. Un motor Diesel, por ejemplo, de cuatro tiempos, que permanezca girando a 3.000 r/min aspira a cada minuto 1.500 veces su cilindrada en volumen de aire (lo que puede representar nada menos que 3 m^3 por minuto en un motor de una cilindrada de dos litros). La cantidad de impurezas que existen en el aire en suspensión no resulta desdeñable cuando se trata de consumos de aire tan elevados ya que se establece que en una ciudad industrial existe en suspensión una tonelada de polvo por cada kilómetro cuadrado de superficie.

Estas pequeñísimas partículas sólidas que flotan en el aire, si se introducen en el motor ejercen una acción esmerilante sobre las paredes del cilindro al paso del émbolo, o si quedan en los asientos de las válvulas hacen lo propio con la zona de asiento de la válvula acelerando el desgaste del motor de una manera importante. Por lo tanto hay que acudir a la solución de filtrar el aire de modo que deje la mayor cantidad de impurezas posibles sobre el tamiz constituido por una malla, antes de que se produzca su penetración al interior de la cámara de combustión.

No resulta difícil ni mucho menos encontrar una fórmula de filtraje que llegue a retener la casi totalidad de las partículas nocivas que puedan existir flotando en el aire. El problema lo vamos a encontrar en el momento en que este filtraje produzca una caída de la presión del aire cuando se produce el tiempo de admisión en cada cilindro. Cuando el valor baja demasiado del correspondiente a la presión atmosférica el llenado del cilindro es cada vez menor por lo que no solamente el motor actúa como si fuera de una menor cilindrada sino que además queda descompensada la combustión porque puede llegar un momento en que la cantidad de oxígeno contenida en la cámara sea inferior a la precisada para que esta combustión se realice. El filtro de aire, pues, debe tener la virtud de no dejar paso libre a las partículas sólidas, pero sí al aire, condiciones que ya presentan algunos problemas para que sean compatibles.

En los motores Diesel rápidos que se han de montar en los automóviles y han de entrar, de alguna manera, en competición con los motores de gasolina, conviene que el filtrado de aire no produzca una caída de presión que llegue a afectar a la cantidad de aire entrada en el cilindro en el tiempo de admisión. Por ello se han de utilizar sistemas que sean lo más parecidos posibles a los mismos sistemas adoptados por los motores de explosión que también se encuentran, por supuesto, con el mismo problema. De esta forma se acude a la utilización de filtros dotados de cartucho filtrante de poliuretano, que trabajan en seco, son fáciles de sustituir y de controlar y presentan una buena facilidad para permitir el paso del aire. En la figura 59 tenemos uno de estos filtros correspondiente a un motor PEUGEOT. El desmontaje de la tapa superior (1) se efectúa desde su tornillo central. Desde aquí se tiene acceso a retirar el cartucho filtrante (2). Cuando se produzca el montaje, de nuevo hay que prestar gran atención a la correcta colocación de la junta de estanqueidad (3) pues si ella estuviera mal colocada no se produciría el completo cerrado del conjunto.

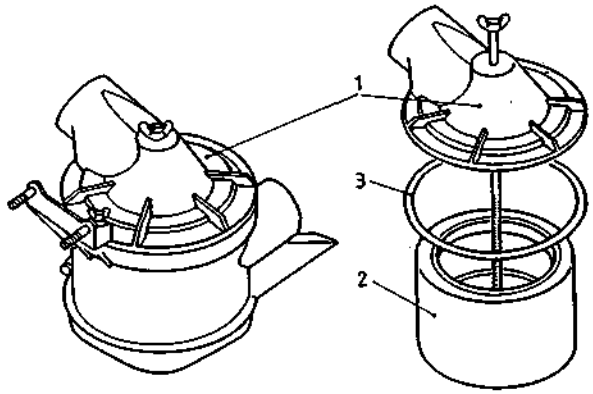


Figura 59. Filtro de aire. 1, tapa superior, 2, cartucho filtrante. 3, junta de estanqueidad.

Por último, tenemos en la figura 60 otro conjunto muy típico de colectores de admisión y escape junto con el filtro de aire en una caja formada por la propia pieza que constituye el colector de admisión, todo ello de la forma muy parecida a la que tuvimos ocasión de ver en la figura 58. En este caso se trata del conjunto de colectores de un motor Diesel FIAT estudiado para equipar a los modelos *Ritmo D*. El sistema de cartucho filtrante en forma de bandeja resulta bastante corriente en los motores Diesel rápidos de cilindradas pequeñas.

Del tema de los filtros volveremos a ocuparnos cuando tratemos de la alimentación de combustible ya que este elemento líquido debe ser cuidadosamente filtrado como se verá en su momento pues muchos elementos de la inyección vamos a encontrarnos en que tienen ajustes entre 2 y 4 milésimas de milímetro (de 2 a 4 micras) por lo que los filtros han de conseguir retener

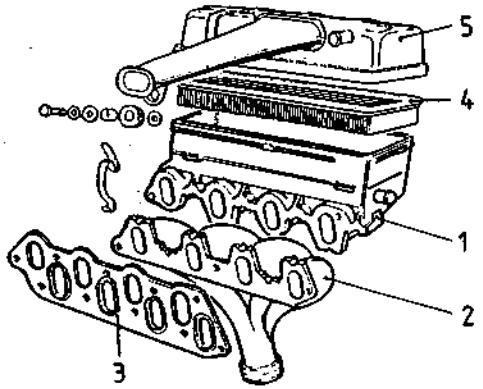


Figura 60. Conjunto de los colectores en un motor Diesel FIAT para automóvil. 1, colector de admisión. 2, colector de escape. 3, junta. 4, filtro de aire. 5, tapa del filtro.

todas aquellas partículas que tengan tamaños de hasta una micra. En este aspecto del combustible el motor Diesel es bastante delicado por la gran precisión que es necesario tengan los órganos del circuito de inyección.

Conclusión

Con todo lo dicho damos por terminado este capítulo dedicado a las diferencias estructurales entre el motor Diesel y el motor de gasolina. Como se ha podido ver a pesar de las diferencias los dos tipos de motores se parecen bastante en todo cuanto hemos estudiado hasta aquí. Ahora, en el próximo capítulo, vamos a entrar de lleno en aquello que los diferencia de manera más acentuada: nos referimos al sistema de recibir el combustible en la cámara de combustión y la forma de producirse ésta. Cuando, en el primer capítulo, estudiamos los principios teóricos en los que se basan ambos motores, ya pudimos ver cómo, en la combustión, se encontraban las mayores diferencias. Este tema pues va a resultar la más importante variación entre ambos motores y será conveniente estudiarla muy a fondo.

4
LA COMBUSTION

La verdadera y fundamental diferencia entre el motor Diesel y el motor de gasolina la encontramos en lo concerniente a los fenómenos que se producen durante la combustión. El ingeniero Rodolfo Diesel, creador de este motor, ya conocía sobradamente el ciclo que utilizaban los motores de Otto cuando se decidió a llevar a cabo un nuevo motor del que pretendía, ante todo, conseguir una mejora de rendimiento sobre el motor de chispa de Otto que ya hacía algunos años se había comenzado a fabricar seriamente en la fábrica alemana de motores DEUTZ con la que Otto colaboraba permanentemente. Como que Rodolfo Diesel, a diferencia de su colega, era un experto ingeniero que había estudiado con todo aprovechamiento las leyes de la Termodinámica desde sus tiempos de estudiante, era lógico que en su proyecto de crear una nueva máquina capaz de sacarle al combustible una mayor conversión en trabajo de su poder calorífico, planteara el nuevo motor desde supuestos más científicos que los que utilizó en su día Otto, y ellos habían de partir, forzosamente, desde la misma cámara de combustión.

Por lo que hemos estudiado en el pasado capítulo 1 ya conocemos estas diferencias planteadas y resueltas por Diesel y ahora nos toca pasar a ver lo que ocurre en la práctica en todo lo que respecta a la combustión, objeto éste que va a ser el tema del presente capítulo, y que va a prepararnos para ver con detalle en el siguiente todo lo relativo a la inyección del combustible que constituye, desde el punto de vista práctico y sobre todo para el mecánico, la mayor y más fundamental diferencia entre el motor Diesel y los motores de gasolina aplicados al automóvil.

La combustión

La combustión está constituida por el acto en que se produce una reacción química —mediante el calor a que es sometido un combustible rodeado del oxígeno contenido en el aire— como consecuencia de la cual el combustible libera, total o parcialmente, la energía calorífica de que es portador. Esta definición describe la situación que se produce en todos aquellos cuerpos que están provistos de carbono (cuya fórmula química es C) cuando de alguna forma se logra combinarlos con el oxígeno (representado en química por la letra O), y no nos dice en principio gran cosa si no tratamos de profundizar un poco sobre los mecanismos físicos y químicos que intervienen en este proceso. Aunque para algunos pueda parecer este estudio aburrido y con escaso aprovechamiento práctico para quien se quiera dedicar a reparar los motores Diesel, vamos a insistir con cierta extensión sobre este proceso químico que determina fundamentales ideas del porqué está construido el motor como lo está y que preocupa grandemente a los ingenieros para lograr mejorar el rendimiento de los motores que proyectan.

En los laboratorios de investigación se han realizado estudios bastante profundos sobre el comportamiento del combustible y del aire cuando se encuentran en el momento de la combustión; sin embargo existen todavía algunos factores que no se acaban de explicar satisfactoriamente por las teorías actuales y eso hace que todavía no se haya construido un tipo único de cámara de combustión en la que se obtenga un rendimiento óptimo e inmejorable en todos los terrenos. Como veremos más adelante, los ingenieros todavía están experimentando con diversos tipos de cámaras y se sospecha que debe existir algún procedimiento particularmente perfecto por medio del cual se consiga la más rápida y perfecta combustión; pero el problema reside en conocer con toda exactitud cómo se produce el fenómeno en cualquier estado de r/min del motor, y en cualquier estado de pulverización del combustible inyectado. Factores como la presión y la forma del chorro inyectado así como la disposición del inyector dentro de la pequeña cámara de combustión presentan problemas que todavía no se han resuelto satisfactoriamente. Más adelante estudiaremos los tipos de cámaras y la forma de la inyección, y ello nos ayudará a conocer sus ventajas y sus inconvenientes.

A pesar de lo dicho, la realidad es que se conocen en líneas generales la mayor parte de los fenómenos que se producen en la combustión y fruto de las teorías a que dan lugar son nuestras actuales cámaras de combustión; pero todavía se quejan los ingenieros de no conocer con absoluta perfección algunos fenómenos como la detonación, por ejemplo, que produce serios contratiempos en los motores de combustión interna, y cuyas explicaciones no pasan de ser teorías que no siempre pueden interpretar todas las facetas del fenómeno cuando se produce en un motor.

No se comprende un buen conocimiento de la inyección de gasóleo si antes no se tienen unas ideas básicas del proceso que se establece durante la combustión. Por ello, no vamos a perder el tiempo si antes de entrar en tan importante tema como es la inyección estudiamos con cierto detenimiento

algunos de los factores más principales que intervienen en la combustión desde el punto de vista químico, para pasar después al estudio de las formas de las cámaras.

Ingredientes de la combustión

Lo que sí se sabe de la combustión es que resulta de una reacción química que se produce entre el carbono y el oxígeno. Puede decirse que todos los elementos orgánicos poseen carbono y que por lo tanto son combustibles. Así pues, la madera y todos los derivados vegetales son particularmente ricos en carbono y por ello su combustión resulta fácil. Para que esta combustión se produzca, sin embargo, el carbono debe poder combinarse con el oxígeno, y da la casualidad de que este elemento particularmente necesario para la vida está presente en abundantes cantidades en el aire, de modo que para que se produzca cualquier combustión es necesario también contar o bien con el aire o con algún producto que contenga oxígeno en abundancia. Los químicos llaman *combustible* al elemento que es capaz de quemar y producir calor o luz, y *comburente* al oxígeno que hace posible esta reacción química.

Desde nuestro punto de vista, que es el relativo a los motores de combustión interna, y especialmente al motor Diesel, nos interesa considerar el combustible como un derivado del petróleo, líquido altamente rico en carbono, del que se dice es consecuencia de grandes cantidades de materia orgánica enterrada en la corteza terrestre a causa de plegamientos de la superficie. Por otra parte, nos interesan conocer las cualidades del comburente para ver que características debe tener la mezcla de ambos elementos para la mejor realización de la combustión. Así pues, vamos a hacer un breve estudio de lo que es el aire y de lo que es el combustible líquido de nuestros motores.

El aire

De todos cuantos elementos contienen oxígeno, el aire es el que resulta más fácil de obtener. Su composición, cuando el aire es seco, se establece en las siguientes proporciones en volumen:

Oxígeno	20,99 %
Nitrógeno	78,03 %
Argón	0,94 % (incluyendo otros gases raros)
Bióxido de carbono	0,03 %
Hidrógeno	0,01 %

Para cualquiera de los cálculos puede establecerse que el aire está compuesto del 21% de oxígeno y del 79% de nitrógeno ya que los otros porcentajes de los otros diversos gases resulta demasiado pequeño para tomarlo en consideración.

Otro dato que va a resultarnos de gran importancia más adelante es el peso que el aire tiene. Por razones naturales el peso del aire es tanto mayor cuando más cerca está de la superficie de la tierra y cuanto más baja es la temperatura. Con una presión barométrica de 760 mm de Hg, que corresponde a la presión atmosférica y a nivel del mar, y con una temperatura de 0 °C en la que se cuenta ya con muy poca humedad, y considerando el aire limpio, su peso es de 1,2929 gramos por litro. Ahora bien: a medida que aumenta la temperatura o la altitud sobre el nivel del mar el peso del aire disminuye con relación a su volumen. Aun cuando el aire es una mezcla de composición no absolutamente fija, puede establecerse que a una temperatura de 15 °C un litro de aire pesa a nivel del mar unos 1,225 gramos por litro. De igual modo la altitud rebaja progresivamente el peso del litro de aire y podemos encontrarnos que a esta misma temperatura de 15 °C, a 500 metros sobre el nivel del mar este mismo litro pese solamente 1,165 gramos, mientras a 1.000 metros de altura se reduzca a 1,110 gramos por litro, y a poco más de 2.000 metros el litro de aire se mantenga en el pesò de sólo un gramo, cantidad que queda ya rebajada a los 2.500 metros considerando siempre la misma temperatura de los 15 °C mencionados. Ocurre, sin embargo, que al aumentar la altura la temperatura suele descender de modo que el peso del aire no puede conocerse de una manera general y depende en cada momento de variadas circunstancias.

No solamente la temperatura y la altitud son factores a tener en cuenta en esta determinación del peso del aire; también el grado de humedad o el polvo, humos, gases, etcétera, contribuyen a cambiar no sólo su peso sino su pureza en la proporción de oxígeno. De hecho, el aire natural puro es difícil de encontrar incluso en la naturaleza en donde el polen, la presencia de bacterias (y no digamos posibles humos procedentes de incendios forestales o erupciones volcánicas, etcétera) influyen para enrarecer las verdaderas condiciones del aire puro.

En los motores de combustión interna el peso del combustible guarda relación con el peso del aire que lo acompaña para hacer posible la combustión, de modo que lo ideal sería tener siempre un aire que tuviera un peso constante para que se determinara una composición fija de oxígeno con respecto a su masa. Esto es especialmente interesante para los motores de gasolina ya que en ellos la entrada de volumen del aire arrastra en el carburador el volumen de combustible; pero si el aire, pese a tener siempre el mismo volumen, tiene cada vez diferente peso puede ocasionar y ocasiona consumos inadecuados por quemado imperfecto del combustible aportado, con la consiguiente baja de rendimiento práctico del motor en cuestión. Los motores Diesel, como veremos en su lugar, funcionan con aire abundante de modo que esta situación no puede darse por regla general en los regímenes de giro bajos y medios; pero en los motores Diesel dedicados a la automoción y en especial a los automóviles esta diferencia de peso variable del aire sí puede llegar a afectar al rendimiento práctico del motor cuando se trata de funcionar a elevados regímenes de giro. Pero no adelantemos acontecimientos porque esto ya lo veremos en su lugar.

Para finalizar digamos que con respecto al peso (y no al volumen), el aire tiene una composición, en porcentaje, que se establece como sigue:

Oxígeno	23,19 %
Nitrógeno	75,47 %
Argón	1,30 %
Bióxido de carbono	0,04 %

Ya veremos más adelante la utilidad de estos datos.

El combustible

El combustible usado en los motores de combustión interna que venimos utilizando para los vehículos automóviles procede del petróleo. Tanto el gasóleo como la gasolina son productos salidos de la destilación de este líquido que en su faceta natural, la llamada de *petróleo crudo*, o sencillamente *crudo*, está compuesto de una mezcla casi infinita de compuestos hidrocarburados. Cuando el crudo es extraído del subsuelo contiene desde gases ligeros de estructura simple hasta líquidos espesos de aspecto de alquitrán, y en su interior pueden encontrarse cantidades de azufre, nitrógeno, oxígeno... además de arena y agua. Lo principal de este líquido es su riqueza en carbono, que varía generalmente según el lugar de donde es extraído el crudo e incluso de la bolsa de donde sale, en un 83 a un 87%; y su riqueza en hidrógeno que suele variar entre un 11 a un 14%.

De todos modos para lograr estos valores el crudo hay que liberarlo de sus impurezas separando en primer lugar el gas natural que contiene y luego pasándolo a una torre fraccionadora desde la cual se establece la destilación de los diferentes productos que el crudo contiene con elevado valor de carbono e hidrógeno. En la figura 1 tenemos representado todo el proceso industrial básico que sufren los diferentes productos nacidos del petróleo crudo, en el que puede seguirse la trayectoria que, a partir de la torre fraccionadora, siguen todos los elementos procedentes de la destilación, entre los cuales se encuentran el gasóleo ligero o destilado del que sale el combustible de los motores Diesel de transporte. También podemos seguir el proceso industrial del que se deduce la destilación de las gasolinas.

A pesar de todo este entramado de diferentes productos que muestra la figura 1, la realidad es que sería posible realizar la conversión de casi todo el petróleo crudo en gasolina o en gasóleo de automoción si ello fuera absolutamente necesario. Lo que ocurre es que a determinados puntos de destilación de los subproductos que van quedando el precio de la conversión en combustible del tipo que nos ocupa sería cada vez más caro, y como quiera que el mercado precisa también de otros productos derivados del petróleo que son más bastos pero cumplen otras funciones, se acude a diversificar los productos obtenidos de acuerdo con la rentabilidad de la destilación.

El proceso de destilación queda representado en la citada figura 1; pero

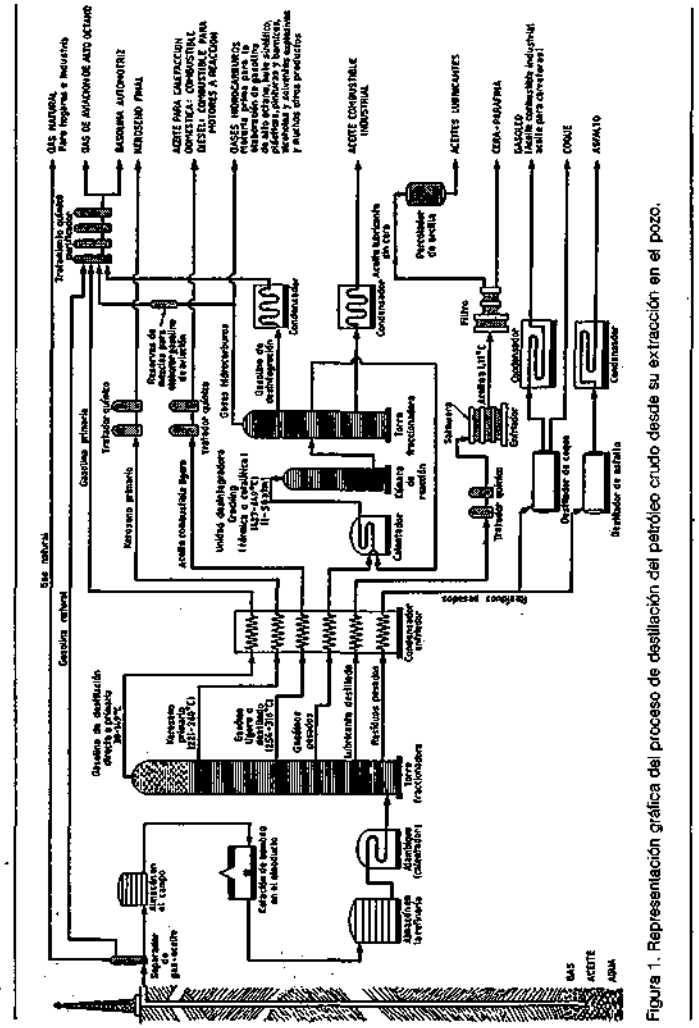


Figura 1. Representación gráfica del proceso de destilación del petróleo crudo desde su extracción en el pozo.

hay que añadir que la figura principal de este proceso es la torre fraccionadora que efectúa el trabajo preliminar en la refinación del petróleo. A ella debe llegar éste caliente para descomponerse por evaporación en los determinados productos que el crudo lleva consigo. La torre fraccionadora suele ser de un mínimo de unos 30 metros de altura y contiene a lo largo de ella una serie de bandejas separadas unos 60 cm entre sí. Los vapores producidos por el crudo caliente en forma de burbujas se van condensando en las bandejas o artesas de acuerdo con la volatilidad de que estén provistas. Los componentes con punto de ebullición superior se van condensando en las bandejas inferiores mientras los componentes de bajo punto de ebullición lo hacen en las bandejas colocadas en lo alto, ya que en estas torres la temperatura es superior en la parte baja y muy inferior en la alta.

En las artesas de la parte alta van quedando las gasolinas que forman la parte más ligera del crudo. En un estadio inferior se producen los kerosenos, o lo que se conoce vulgarmente con el nombre de petróleo o petróleo de quemar; más abajo se condensan los gasóleos que a su vez se dividen en gasóleos ligeros y en gasóleos pesados: de los primeros nace el producto fundamental para conseguir el combustible que se utiliza en automoción para la propulsión de los motores Diesel. Más abajo van quedando otros productos de los que se derivarán los aceites lubricantes y las parafinas, por un lado y, por otro, y de los residuos más pesados, se extraerán los aceites combustibles industriales y los asfaltos.

Una vez visto el sistema de obtención de estos combustibles utilizados en los motores de gasolina y en los motores Diesel, veamos algunas de las características químicas y físicas que los definen.

La fórmula química que define a estos combustibles es la de los hidrocarburos cuya composición está formada principalmente por carbono (C) e hidrógeno (H) con una fórmula química molecular de $C_8 H_{17}$ o también $C_8 H_{18}$. Además contienen una serie de aditivos y pequeñas cantidades de azufre.

En cuanto al peso específico de la gasolina se encuentra alrededor de los 700 gramos el litro, mientras el gasóleo, más pesado, viene a ser de 855 gramos por litro.

El poder calorífico de ambos combustibles viene a ser el mismo. Aunque esta característica depende de varios factores, entre el que no es el menor la calidad del crudo de que se parte, puede establecerse que la combustión de 1 kg puede dar un poder calorífico de unas 10.500 kcal.

El proceso de la combustión

Cuando estudiamos el ciclo de funcionamiento de los motores Diesel ya tuvimos ocasión de darnos cuenta de que el aire entra en la cámara por un conducto y el combustible lo hace por otro. Pero hemos dicho que el combustible precisa estar rodeado de aire como fuente de la que pueda extraer el oxígeno necesario para oxidar sus moléculas y producir su combustión. El primer problema que se nos presenta a este respecto consistirá en saber cuánta

cantidad de aire va a necesitar una cantidad determinada de combustible para hacer posible esta citada combustión. En efecto: si dentro de la cámara introducimos una cantidad de aire cuyo contenido total de oxígeno sea insuficiente para producir el quemado de toda la cantidad de combustible aportado es evidente que parte de éste va a quedar sin consumirse y saldrá sin quemar por el colector de escape; por el contrario, una cantidad excesiva de aire dentro de determinados límites, producirá una pérdida de rendimiento del motor porque es evidente que el aire absorbe energía para ser comprimido, y si la cantidad de aire comprimida resulta inútil con respecto al combustible aportado, toda esta energía no tendrá objeto en el proceso. El ingeniero debe conocer pues, forzosamente, cuánto aire se necesita para la combustión de cada cantidad determinada de combustible.

También en los motores de gasolina resulta necesario conocer este detalle y aún con más razón que en los motores Diesel porque, como es sabido, el aire se mezcla con la gasolina de acuerdo con el volumen de éste que pasa a través de un difusor, en el que se encuentra un surtidor desde el que el mismo aire succiona el combustible que se considera necesario, de modo que el carburador ha de estar dimensionado de acuerdo con la relación que existe entre el aire que circula por un tubo grueso y el combustible que lo hace por un tubo fino.

Los químicos pueden dar fácilmente respuesta a este problema ya que ellos saben pesar las moléculas y deducir cómo se producen las reacciones químicas, de modo que llegan a una solución acertada por la siguiente vía:

Si se tratara de la combustión del carbono con el oxígeno puro la fórmula química vendría determinada por

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

Pero se trata de hacer intervenir en este proceso también al aire del que forma parte el oxígeno que vamos a necesitar. Además, como hemos visto, la cantidad de oxígeno que hay en el aire, con relación al nitrógeno, será de

$$\frac{79}{21} \quad 3{,}76$$

por lo que, si en vez de contener oxígeno puro se saca éste del aire la fórmula nos queda convertida en:

$$C + O_2 + 3{,}76N_2 \rightarrow CO_2 + 3{,}76N_2$$

Los químicos saben que cada uno de estos términos tiene un peso molecular que es, en el caso del oxígeno, igual a 16; en el caso del carbono, 12; en el del nitrógeno (N) será 14. De este modo se puede establecer la siguiente relación:

$$12 \text{ kg } C + 32 \text{ kg } O_2 + 106 \text{ kg } N_2 \rightarrow 44 \text{ kg } CO_2 + 106 \text{ kg } N_2$$

Aquí tenemos, pues, un ejemplo de ecuación en el que se explica un proceso de combustión utilizando solamente carbono y el oxígeno contenido en una masa de aire.

Pero cuando nos encontramos con la ecuación química de un derivado del petróleo, en el que la fórmula química es, por ejemplo, C_8H_{18} y se va a producir una combustión con aire seco, para conocer la cantidad de oxígeno que va a ser necesario tendremos que proceder a balancear la ecuación química siguiente:

$$C_8H_{18} + O_2 + N_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2$$

En primer lugar se efectúa el balance del carbono que nos resultará:

$$C_8 \rightarrow 8CO_2$$

A continuación el balance del hidrógeno

$$H_{18} \rightarrow 9H_2O$$

Luego el balance del oxígeno:

$$12{,}50\ O_2 \leftarrow 8CO_2 + 9H_2O$$

Y finalmente el balance del nitrógeno que recordemos es N = 3,76N:

$$12{,}50(3{,}76)N_2 \rightarrow 47N_2$$

Y, por último, de todo este balance nos queda la ecuación química final que nos indica la cantidad de oxígeno que necesita la combustión de este hidrocarburo, ya que juntando todos los datos que se reúnen del balance de cada uno de sus elementos tendremos:

$$C_8H_{18} + 12{,}50\ O_2 + 47N_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O + 47N_2$$

Ahora ya es cuestión solamente de relacionar la cantidad de aire teórica, es decir la químicamente correcta, también conocida con el nombre de *estequiométrica*, con el combustible, relacionados ambos en peso para ver con ello la cantidad de aire que se necesita para quemar una cantidad determinada de combustible. Para ello basta con acudir a los pesos moleculares de cada uno de los elementos que intervienen.

De acuerdo con lo dicho tendremos:

Peso del combustible utilizado: $(8 \times 12) + (18 \times 1) = 114$

Para calcular el peso del aire tenemos dos elementos, el oxígeno, por una parte y por otra el nitrógeno.

Peso del oxígeno: $12,50 \times (16 \times 2) = 12,50 \times 32$	400
Peso del nitrógeno: $47 \times (14 \times 2) = 47 \times 28$	1.316
Total peso del aire	1.716

La relación entre el peso del combustible y el peso del aire vendrá dada por la división entre el primero por el segundo, de la forma siguiente:

$$\frac{114}{1.716} = 0,0664$$

Lo cual quiere decir que por cada unidad de peso de aire se necesitarán 0,0664 unidades de peso de combustible; o dicho de otra manera más clara, cada vez que se consuman 1.000 gramos de aire se tendrán que consumir 66,40 gramos de combustible. Por lo tanto, existe un peso, una relación de

$$\frac{1}{0,0664} = 15,06$$

lo que podría traducirse también diciendo que por cada unidad de peso de combustible consumido se necesitarán 15,06 (ó 15,10) de las mismas unidades de peso de aire. Existe pues una relación de 1:15,10.

Esta condición de necesidad de la presencia de aire en esta proporción se cumple igualmente para la gasolina y para el gasóleo y constituye la proporción químicamente correcta o mezcla estequiométrica de la que se ha de partir básicamente para calcular carburadores y la cantidad de aire admitida por los motores Diesel, o en virtud de ésta la cantidad máxima de inyección que resulta posible en estos motorees.

A lo largo de la explicación de la interpretación de la ecuación química hemos insistido muchas veces en que las relaciones entre combustible y aire *han de considerarse siempre desde el punto de vista del peso*. Ya vimos, al estudiar el aire, por ejemplo, que un litro de este elemento pesa solamente un poco más de un gramo mientras un litro de gasóleo alcanza aproximadamente 855 gramos. Si las relaciones se establecieran en volumen y no en peso querría ello decir que por cada litro de gasóleo se consumirían 15,10 litros de aire, lo que a su vez podría interpretarse también como el consumo de $15,10 \times 1,22 = 18,42$ gramos de aire cada vez que se consumen 855 gramos de combustible. Por supuesto que ya se adivina que esto no puede ser así, pero es un error que hay que evitar. La realidad es que al tener siempre en cuenta el valor del peso, tenemos que cuando el motor ha consumido 855 gramos de gasóleo habrá consumido también

$$\frac{855 \times 15,10}{1,225} = 10.539 \text{ litros de aire}$$

lo que ya se corresponde más o menos con la realidad aun cuando aquí estemos considerando solamente la proporción químicamente correcta pues en la práctica vamos a ver enseguida que el motor Diesel consume todavía una importante cantidad de aire adicional superior a la que acabamos de calcular.

Exceso de aire

El motor de gasolina, debido a que el aire debe contener siempre la cantidad de combustible incorporada a su propio flujo, se ve obligado a trabajar con el aire justo necesario para cada proporción de mezcla que se precisa según las condiciones de marcha. Esta particularidad favorece bastante el llenado de la cámara de combustión con una mezcla explosiva que guarda una proporción cambiante según las necesidades del requerimiento del motor por parte del conductor. Ello favorece mucho la aceleración, pero tiene el inconveniente de que saca por el tubo de escape mucho combustible que no se ha podido quemar completamente como consecuencia de la falta de oxígeno en la mezcla lograda. El motor Diesel, por el contrario, trabaja siempre con exceso de aire y ello no afecta en absoluto a su correcto funcionamiento como ocurriría en el motor de explosión, ya que tiene la ventaja de que el combustible es inyectado al aire y si, en efecto, hay exceso de aire hasta el punto de que el combustible puede quemarse completamente y todavía sobra aire ello no afecta en absoluto de una manera negativa al proceso de la combustión.

Por el solo hecho de conocer el ciclo Diesel ya se puede colegir que la proporción aire/combustible es muy variable en un motor de este tipo. Dada la característica de que el cilindro se llene de aire, en el tiempo de admisión, de una manera completa, ya se ve que el exceso de aire ha de ser mucho para los regímenes de marcha lenta o ralentí ya que en este caso el combustible aportado por una bomba inyectora debe ser mínimo y en una proporción varias veces inferior a las necesidades de combustión estequiométricas. La situación ya se estabiliiza más durante los regímenes medios de giro (entre 2.000 a 3.000 r/min) y es solamente en las máximas aportaciones de la bomba de inyección cuando la relación aire/combustible se aproxima a los valores mínimos de combustión químicamente perfecta. Así pues, el exceso de aire es característica de cualquier motor Diesel y puede llegar a ser de un 20 a un 100 % según las condiciones de funcionamiento. En líneas generales, los ingenieros suelen decir que un motor Diesel trabaja con un 40 % más de aire del estequiométrico, lo que podría traducirse como que trabaja con proporciones de mezcla de 20 a 20:1.

El exceso de aire no afecta a la combustión. Ello lo demuestra la química por medio de sus ecuaciones. De hecho, si a la fórmula química de la combustión que vimos hace un momento se le añade, por ejemplo, un 25 % más de aire del rigurosamente necesario, el exceso de aire aparece invariablemente en los productos resultantes de la combustión. De este modo la fórmula que vimos anteriormente quedaría establecida de la siguiente manera si en la combustión se introduce un 25 % más de aire del necesario:

$$C_8H_{18} + \frac{5}{4}(12{,}50)O_2 + \frac{5}{4}(47)N_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O + 3.12\,O_2 + 58{,}75N_2$$

Como se ve la combustión se realiza y el exceso de oxígeno y de nitrógeno aparece entre los residuos de la combustión.

Punto de encendido

Para que se produzca la combustión ya sabemos la cantidad de aire que hay que aportar al interior del cilindro y el peso de la cantidad de combustible que se necesita. El segundo problema es la forma cómo vamos a iniciar la combustión ya que es evidente que se precisa encontrar algún agente o algún sistema por medio del cual se inicie el proceso. En el caso de los motores de explosión ya es conocido que una chispa elétrica de alta tensión libera la pequeña energía inicial por medio de la cual se inflama la mezcla explosiva; pero en los motores Diesel tal chispa no existe y la iniciación del proceso de combustión se establece por la alta temperatura que el aire alcanza cuando se encuentra altamente comprimido.

Las características del combustible en el aspecto de su autoencendido o autoinflamación son muy importantes en el motor Diesel ya que va a ser la temperatura alcanzada la que determine el inicio de la combustión. Por ello hay que conseguir un combustible que tenga estable su punto de encendido.

El punto de encendido de un combustible se define como la temperatura a la cual se enciende este combustible en presencia del aire, es decir, sin el auxilio de llama o chispa alguna, y esta situación se produce en el gasóleo a los 270 °C. Así pues, en el interior de la cámara de combustión se ha de lograr una temperatura que se halle teóricamente por encima de los 270 °C para que la combustión se inicie y esto es lo que en el motor Diesel se consigue por el sistema de comprimir el aire previamente. En efecto: ya es de antiguo conocido que cuando un gas se comprime aumenta su temperatura de modo que el aire puede comprimirse tanto como sea necesario para alcanzar la temperatura precisa en la que el gasóleo llegue a autoinflamarse. Pero el hecho de que la temperatura lograda deba ser bastante más superior a los 270 °C a los que se autoinflama el gasóleo es debida a varios factores tales como la relativa frialdad a que se mantienen las paredes del cilindro y de la culata debido al necesario sistema de refrigeración y también a la temperatura inicial del aire. Por ello se precisan como mínimo poder alcanzar temperaturas del orden de los 500 °C para que la combustión esté asegurada y tanto mejor y más rápidamente se producirá ésta cuanto mayor sea la temperatura con la que va a encontrarse al ser inyectado el combustible sobre la masa de aire comprimido.

Desde un punto de vista teórico damos a continuación los datos de las temperaturas y presiones alcanzadas en cada uno de los grados de relación de compresión teniendo en cuenta que se han elaborado considerando el aire aspirado a 20 °C. A temperaturas superiores o inferiores estos números son solamente orientativos por cuanto la temperatura de final de compresión sufre algunas variaciones:

Relación de compresión	Temperatura °C	Presión de compresión
12	665	27
14	700	33
16	731	40
18	759	46
20	786	54
22	810	60

Como puede verse se confirma que a mayor relación de compresión mayor es la temperatura alcanzada por el aire, pero también son mayores las presiones de compresión. Obsérvese, por ejemplo, que la temperatura obtenida a una relación de compresión de 20:1 es solamente poco más de un 18 % de la obtenida a 12:1 mientras la presión de compresión es exactamente el doble. Como se verá en su momento, si bien la presión facilita la velocidad de propagación de la combustión, también presentará sus inconvenientes en el sentido de necesitar una mayor presión de inyección además de dificultar, pese a la elevada temperatura, el inicio de la combustión. De ahí que en los motores dotados de elevadas compresiones, tales como son los motores de aplicación al automóvil, se haga uso preferentemente de las cámaras de turbulencia que ya estudiaremos más adelante.

Con lo dicho hasta ahora tenemos ya planteados los dos factores principales que son indispensables en la combustión. Además del imprescindible combustible, la relación de oxígeno necesaria para un quemado completo y, por otra parte, la temperatura necesaria para que esta mezcla inicie su combustión. Ahora ha llegado el momento de ver cómo se produce ésta.

Proceso de la combustión

Aunque a primera vista pueda parecer que la combustión del gasóleo se produce instantáneamente a medida que va entrando en la cámara de combustión, la realidad del proceso es lo bastante compleja como para requerir una serie de pasos previos todos los cuales necesitan a su vez períodos de tiempo más o menos cortos para realizarse. Por lo pronto podemos establecer tres grandes operaciones en las que se puede clasificar el proceso de la combustión y que pueden verse relacionadas en la figura 2. Hay que distinguir pues, un proceso de *formación de la mezcla*, otro de *encendido* de la misma, y, finalmente, el proceso de la *combustión* general.

El proceso de la formación de la mezcla se establece en el mismo momento en que el chorro de combustible penetra en el interior de la caliente y

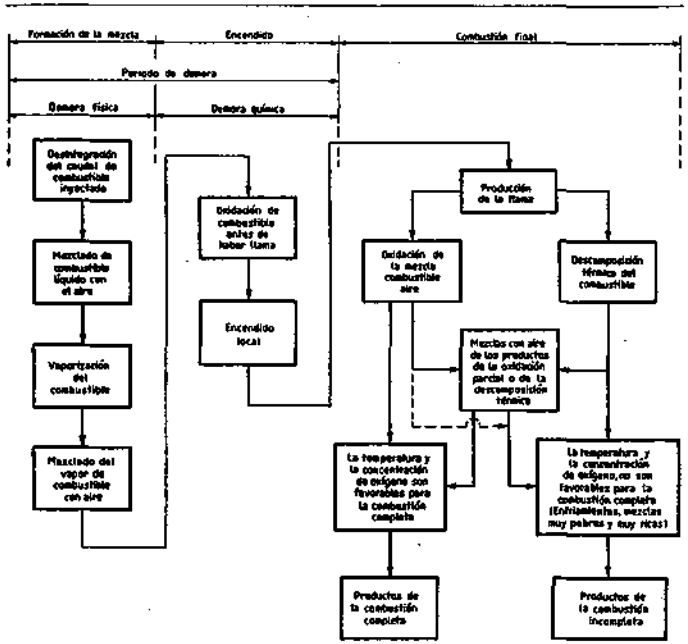


Figura 2. Esquema en el que se muestra el proceso de la combustión en un motor Diesel.

espesa atmósfera reinante en el interior de la cámara muy próxima ya a su máxima compresión (ya que se produce unos grados antes de que el émbolo haya alcanzado su PMS). El chorro es lanzado desde la tobera del inyector con unas características que pueden ser parecidas a lo que muestra la figura 3. Aquí tenemos, en la parte central del chorro, un núcleo de combustible que avanza a través de la cámara. Lo primero que se ha de conseguir es, por supuesto, establecer la mezcla del combustible con el aire para que el carbono pueda estar en contacto con la mayor cantidad de oxígeno posible, de modo que cuanto más pulverizado o atomizado se encuentre este núcleo tanto más rápidamente se podrá contar con una producción de mezcla aceptable. Inmediatamente que el combustible penetra en el interior de la cámara, en la parte de la periferia del chorro se produce una vaporización que fracciona o atomiza aún más al combustible que compone esta parte y que se establece en virtud

de la alta temperatura del aire; pero la oxidación no se completa hasta que todo el combustible no se ha vaporizado y se ha mezclado debidamente con el aire para proveerse de oxígeno suficiente. Existe aquí pues, una *demora física* constituida por la pérdida de tiempo que se produce hasta que todo el núcleo del chorro se ha evaporado y mezclado debidamente con el aire, adquiriendo la elevada temperatura que éste tiene.

En estas condiciones la mezcla está preparada para el proceso de encendido que ha de producirse espontáneamente cuando la oxidación de todas las moléculas del combustible se han acompañado de abundantes moléculas de oxígeno y la temperatura adquiere los valores necesarios para que prenda la llama en todo el combustible atomizado. Generalmente, la reacción se inicia con cierta lentitud aunque de inmediato se acelera hasta que se produce la inflamación de todo el combustible contenido en la mezcla; pero hay evidentes desajustes, porque la mezcla producida por este sistema no puede resultar con facilidad una mezcla precisamente homogénea. El disparo del dardo de inyección habrá hecho que en algunas zonas de la cámara existan algunas finísimas gotas de combustible que todavía no se habrán evaporado, mientras en otras regiones se puede encontrar vapor completamente oxidado y que inicia ya la combustión en virtud del autoencendido mientras las otras zonas se encenderán por la propagación de esta llama. A la demora física de que hablábamos en el párrafo anterior tendremos que añadir una nueva *demora química* relacionada con el tiempo de oxidación y el primer encendido local a partir del cual ya se podrá hablar de que la combustión se está produciendo.

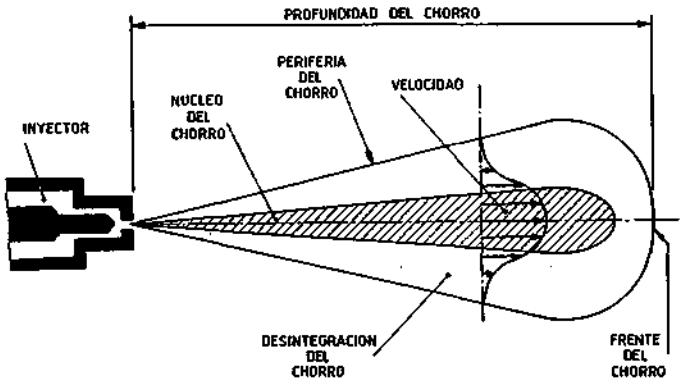


Figura 3. Análisis del chorro del combustible una vez salido del inyector e introducido en una cámara de combustión llena de aire comprimido.

Viendo la descripción que del proceso de combustión se hace en la figura 2, todavía podemos sacar nuevas conclusiones sobre la forma en que la combustión se produce. Puede existir un grupo de la mezcla que se encuentre perfectamente oxidada y dé pie a una combustión completa del combustible; pero puede existir también, dentro de la misma combustión, otros grupos más o menos importantes que, o bien por falta de concentración de oxígeno o bien por no llegar a alcanzar la temperatura favorable, dan origen a una combustión incompleta.

Estas son las características generales de la combustión desde el punto de vista físico y químico. El ingeniero puede actuar de varias maneras para conseguir mejorar el rendimiento de la combustión reduciendo los tiempos de demora, pues una combustión como la descrita, aún cuando todas las demoras se produzcan en tiempos de milisegundos, resulta extraordinariamente lenta con respecto a la rapidez que puede conseguir el motor de explosión en lo que a la combustión respecta. Por ejemplo, si se consigue pulverizar muy finamente el combustible durante el tiempo de su inyección lograremos acelerar su proceso de oxidación. Por otra parte, si se consigue que el aire esté en movimiento en el momento de la inyección, de modo que gire rápidamente sobre sí mismo, también facilitaremos que la mezcla del oxígeno con el combustible se establezca más fácil y rápidamente. Y, por último, si la temperatura resulta muy elevada facilitaremos también la evaporación. Todos estos caminos han sido recorridos e investigados por los ingenieros a la búsqueda de la cámara de combustión perfecta. Pero de este tema nos ocuparemos más adelante y veremos porqué los motores Diesel de los automóviles han adoptado un tipo de cámara y cómo sobre el mejoramiento de este diseño está el secreto para que este motor pueda alcanzar un mayor número de r/min y con ello un aumento de su potencia a igualdad de cilindrada.

Resultados de la combustión

Conviene, antes de adentrarnos en el tema de las cámaras, que estudiemos el tiempo del ciclo llamado combustión desde un punto de vista de las presiones logradas, que es la faceta práctica del resultado de la liberación energética del combustible. Así también lograremos hacernos cargo de algunos problemas que afectan a la inyección.

La fase de combustión propiamente dicha se produce al final del tiempo de compresión y se extiende durante el comienzo de la expansión. Resulta necesario que el émbolo reciba el punto máximo del aumento de presión en el momento en que se halle en el exacto PMS. Si la combustión se adelanta al PMS y por lo tanto se efectúa ligeramente antes de que el émbolo haya llegado a su final de la carrera de compresión, se sobreentiende que ha de ocasionar un freno en su giro con un contragolpe para el cigüeñal y sus cojinetes además de los de biela. A la pérdida de potencia ocasionada por este trastorno habría que añadir, en muchos casos, la rotura de la película de aceite

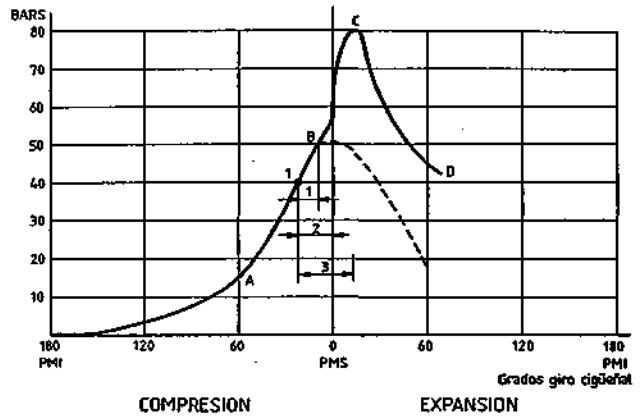


Figura 4. Relación de las presiones obtenidas con respecto al giro del cigüeñal en el momento de la combustión en un motor Diesel.

que sirve para el engrase de los cojinetes y un rápido desgaste de los mismos. Así pues, una combustión excesivamente adelantada puede ocasionar grandes males que el motor delata con ruido o picado de cojinetes.

Por otra parte, también puede darse el caso inverso, es decir, que el momento de la combustión se produzca cuando el émbolo ya ha pasado su PMS e inicia el descenso. En este caso el aumento de presión no tendría suficiente tiempo para expansionarse y al abrirse el escape se desperdiciaría gran parte de la energía del combustible al salir éste todavía en período de expansión hacia la atmósfera.

Por lo que acabamos de estudiar sobre la combustión, vista desde el terreno de la química, ya nos hemos dado cuenta de la importancia de las demoras que hacen que la combustión no se produzca de un modo instantáneo de modo que hay que organizar el momento de la combustión con mucho cuidado para conseguir que, salvados todos los retrasos, la combustión llegue a producirse siempre en el exacto PMS contando incluso con las diferentes velocidades de giro del motor que modifican su tiempo de llegada a este PMS según su régimen de r/min.

El gráfico de la figura 4 va a servir para darnos una idea más clara de la forma de producirse la combustión. En primer lugar tenemos el gráfico dividido en dos líneas, la horizontal, que representa los diferentes grados de giro

del cigüeñal en el que la línea central indica el momento del PMS del émbolo; y la línea vertical que está señalada como indicadora de las presiones que pueden obtenerse en el interior del cilindro. La línea gruesa, en sus partes A-B-C-D, indica el valor de las presiones que se van obteniendo a medida que el émbolo asciende en su carrera de compresión, se produce la combustión y desciende en su carrera de expansión hasta el mismo PMI.

Partiendo desde el primer PMI que determina el inicio de la carrera de compresión vemos como a medida que el émbolo asciende hacia el PMS va aumentando la presión en el cilindro por compresión del aire. Antes de que la compresión haya finalizado ya se tiene que pensar en comenzar la inyección para dar tiempo a que se puedan llevar a cabo las demoras físicas y químicas que hemos estudiado de modo que la combustión pueda coincidir con el PMS. Así pues, en 1 ya se inicia la inyección. El émbolo continúa subiendo y en el punto señalado como final de la flecha 1 acaban las demoras de la combustión y se inica ésta, como puede verse en el gráfico, casi en el momento en que logra el émbolo su máxima presión de compresión: a partir de aquí ya se inicia la combustión activa que hace crecer rápidamente la presión, tal como indica la línea gruesa, hasta el punto máximo (C), todo ello ya pasado el PMS, y la combustión continúa mientras el émbolo va descendiendo en su carrera.

La zona representada por 2 es el avance de la inyección y su cálculo determina los grados antes del PMS en que ha de iniciarse la inyección para que ésta se produzca tal como se indica en el gráfico. Por lo mismo podemos decir que en 3 tenemos la duración de la inyección que, como vemos, ocurre antes del PMS pero además se atrasa una vez ya traspasado por el émbolo la línea del PMS.

El punto exacto en que se inicia la combustión, es decir, el punto 1, es de suma importancia para determinar que la combustión se produzca exactamente en el PMS. En los motores relativamente lentos (entendiendo por ello aquellos motores que giran a 2.600 r/min, por ejemplo) los grados de avance son menores que en los motores rápidos que giran a regímenes cercanos a las 5.000 r/min. Mientras los primeros se mantienen con unos valores de avance de 16 a 18 grados ante del PMS, los últimos se mantienen entre los 20 a 22 grados. Pero ello no depende exclusivamente de la velocidad de rotación del motor sino más bien de la facilidad o lentitud con que se produzca la combustión de acuerdo con diversos factores. Los motores provistos de inyección directa (de los que, sin embargo, hay pocos por ahora en automovilismo) poseen generalmente mayores avances que los dotados con cámaras de turbulencia, aun cuando aquéllos sean mucho más lentos, ya que con la inyección directa la combustión se hace más lentamente que con el uso de las cámaras de turbulencia.

Por supuesto, y como se ha dicho, el rendimiento máximo termodinámico solamente puede obtenerse cuando la presión máxima se efectúa en el PMS. Para ello se calcula el punto del avance de la inyección con todo cuidado pues de su acierto dependen, no solamente el rendimiento sino también el ruido del motor y la cantidad de humo expulsado.

Características del avance

El buen estado de funcionamiento de un motor Diesel y su alto rendimiento se está produciendo cuando se percibe que el motor gira seco y duro, tal como corresponde a sus altas presiones de trabajo. En los motores grandes y lentos, esta característica queda muy manifiesta para los oídos del maquinista o del mecánico que lo atiende. En los motores sobrealimentados esta condición de funcionamiento seco y duro se aprecia menos; y menos todavía en los motores ligeros de automóvil que están provistos de cámara arremolinadora; pero, de todos modos, incluso en éstos, el motor Diesel debe delatar siempre que está en medio de grandes presiones tanto de compresión como de combustión.

Esta característica se pone ampliamente de manifiesto cuando el motor está funcionando con un avance adecuado a las necesidades del ciclo. A medida que las piezas se desgastan debido al roce o a ir haciéndose viejo el motor (los dientes de los engranajes, las levas, los eslabones de las cadenas de transmisión, los empujadores, los casquillos de los cojinetes, etcétera) todo ello viene a provocar un cierto desajuste del avance de encendido que hace que el motor tenga cierta tendencia a retrasarse. Cuando esto ocurre, el motor pierde su funcionamiento seco y duro y se vuelve más suave dando una impresión aparente de que funciona mejor. Pero, desde luego, no es así: quema el combustible tarde y peor, ensucia los segmentos o aros de los émbolos, las válvulas y el inyector y, si se mantiene funcionando en estas condiciones, acabarán los aros pegados en sus alojamientos, obstruidos los orificios del inyector, etcétera, todo ello como consecuencia del mal quemado del combustible. Si un motor parece más suave de la cuenta, o se observa que ha aumentado su consumo, o bien que hay llama en un escape que huele, dando a entender que sale mezcla no quemada de la misma cámara de combustión, una de las causas que se han de tener presentes como posibles es repasar el avance y probar si la situación se mejora avanzando algo la inyección del modo que ya se estudiará llegado su momento.

Otro de los problemas que pueden afectar al avance de una manera importante es el índice de cetano del combustible, también conocido con el nombre de *número de cetanos*.

El número de cetanos de un combustible es una referencia que mide la dificultad de encendido y la resistencia a quemar explosivamente de este combustible. Podría definirse como una referencia que establece la mayor o menor facilidad de inflamarse espontáneamente un combustible, en nuestro caso el gasóleo. Por medio del cetano se indica el punto de autoencendido de un combustible concreto: cuanto menor es el número de cetano más tarda en autoencenderse el gasóleo y, al contrario, cuanto más elevado es este número más fácilmente se logra la inflamación.

De acuerdo con esta definición ya se puede ver bien claro la importancia que el número de cetanos del combustible ha de tener para el avance del encendido por cuanto un combustible dotado de poco número de cetanos precisará un mayor tiempo para autoencenderse y consiguientemente un mayor

avance de encendido; pero un combustible de alto grado de cetanos se encenderá antes y precisará, por el contrario, un retraso de encendido. Este factor puede, por consiguiente, afectar al punto correcto del avance.

Los gasóleos comerciales oscilan entre un número de cetanos de 35 a 75. De todos modos hay que advertir que el combustible habitual se mantiene sobre los 50. Ocurre aquí lo mismo que con el octano de las gasolinas, cuya cualidad es precisamente lo contrario, es decir, el alto grado de resistencia al autoencendido que queda referenciado por el número de octanos y que en las gasolineras queda muy diferenciado en los postes de cada uno de los tipos, como resulta bien conocido.

Lo corriente es que el gasóleo tenga un diferente tipo de número de cetanos según la utilización para la que está destinado. Así el dedicado a los motores Diesel de agricultura, marina o automoción pueden cambiar, además del color, su número de cetanos. El fabricante determina el avance de acuerdo con este combustible y así se procura mantener cada combustible dentro del grado o índice de cetanos correspondiente. El problema puede aparecer cuando se cambian los combustibles cosa que, por otra parte, está prohibido.

Después de todo lo estudiado hasta ahora sobre la combustión vamos a pasar al estudio de los diferentes tipos de inyección y de los diferentes tipos de cámaras, ya que de estos nuevos elementos combinados con los fenómenos de la combustión que hemos descrito hasta aquí, ha de nacer la parte fundamental de nuestros motores Diesel rápidos.

Los motores Diesel según la inyección

Tal como hemos visto los fenómenos que se producen en la combustión hemos podido sacar las siguientes conclusiones: Primero, que la combustión no se realiza instantáneamente; y, segundo, que es preciso valerse de los sistemas que sean necesarios para conseguir que el aire se mezcle lo más rápidamente con el combustible para conseguir que la combustión se establezca en el PMS.

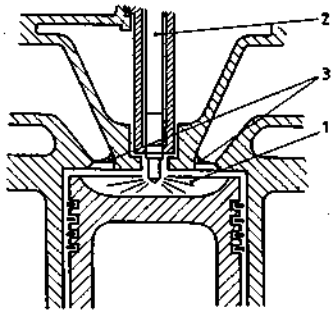


Figura 5. Ejemplo típico de una cámara de inyección directa. 1, cámara de combustión labrada en el interior del émbolo que ahora se ha dibujado en PMS. 2, inyector. 3, válvulas.

Para conseguir mejorar el tiempo de la combustión y hacer lo más pequeñas posibles las demoras que se producen se ha trabajado en dos campos diferentes, pero muy relacionados. Uno de ellos es la forma cómo se produce la inyección y las presiones y atomización del combustible al introducirlo en el interior de la cámara; y la otra, en la forma cómo son estas mismas cámaras para conseguir movimientos de revolución o turbulencia del aire que descompongan más rápidamente el flujo de combustible proporcionado por el inyector con su chorro o dardo.

Para conseguir un estudio ordenado de estos sistemas vamos a dividirlo en las dos partes principales siguientes relativas, en primer lugar, al sistema de inyección posible:

Motores Diesel de inyección directa
Motores Diesel de inyección indirecta

Veamos cada una de estas partes por separado.

Motores Diesel de inyección directa

La inyección se dice que es directa cuando actúa directamente sobre una cámara de combustión que se halle en el propio cilindro y generalmente, dado el caso de la alta compresión de todos los motores Diesel, sobre la cabeza del émbolo. Tal es el caso que se puede ver en la figura 5. Aquí tenemos representado el émbolo en su PMS y cortado para apreciar en su parte superior la zona que determina la cámara de combustión (1). El inyector (2) actúa directamente sobre el aire comprimido mientras las válvulas (3) quedan en la parte opuesta al inyector.

La inyección directa se divide a su vez en dos partes fundamentales que son, la inyección directa pura que se comporta de un modo similar al que acabamos de ver en la figura 5, y la inyección directa con turbulencia que mejora en mucho las condiciones del primer sistema.

La inyección directa pura tiene el inconveniente de hacer muy lenta la combustión como consecuencia del estado más o menos estático del aire en la densa atmósfera que se produce cuando el émbolo llega a su PMS. El combustible ha de mezclarse con el aire por su propia fuerza de pulverización lo que crea demoras físicas y químicas lo más prolongadas posibles. Por supuesto es un sistema que nunca se verá aplicado a los motores de automóvil debido a que no permite de ningún modo un número de r/min aceptable para un motor ligero. Por ello se utiliza solamente en los más grandes modelos de motores Diesel y especialmente en los de grandes potencias aplicados a los barcos. En los motores más pequeños (y desde luego todavía mucho más grandes que los de automóvil) se utiliza con preferencia el sistema de inyec-

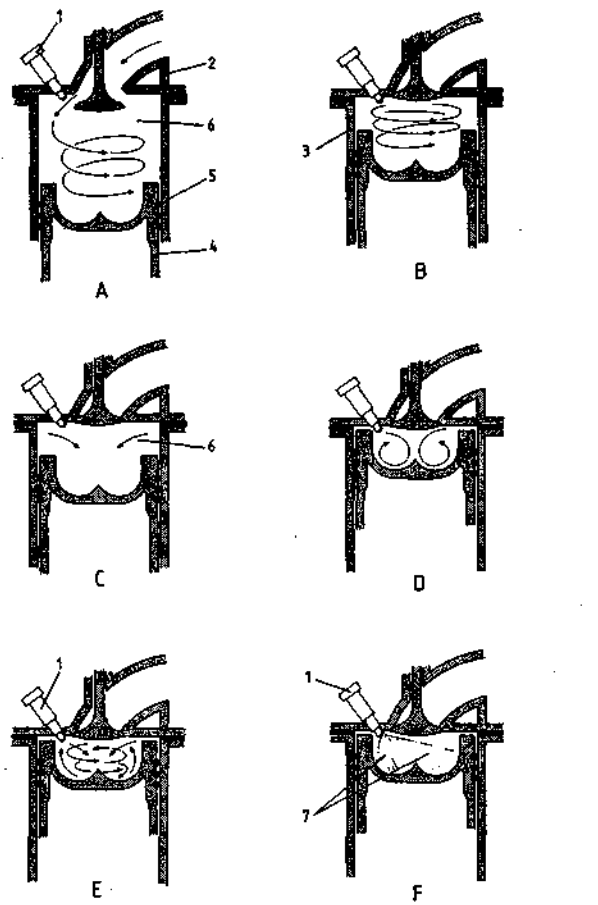


Figura 6. Cámara de combustión de doble remolino para motor de inyección directa. 1, inyector. 2, culata. 3, cilindro. 4, émbolo. 5, aros. 6, aire. 7, combustible.

ción directa con turbulencia en el que el émbolo lleva incorporado un sistema mediante el cual hace que el aire, a medida que se va comprimiendo, vaya adquiriendo también un fuerte movimiento de revolución que se mantenga incluso cuando el inyector descargue su chorro de combustible. Este permanente giro del aire hace que el combustible se oxide más rápidamente y permite hacer motores con regímenes de giro más elevados y aceptables.

La observación de la figura 6 explica con bastante detalle la forma de comportarse el aire en un motor provisto de inyección directa pero con cámara de combustión de doble remolino. En A tenemos el momento de la entrada del aire procedente del tiempo de admisión: al bajar el émbolo la misma irregularidad de la cabeza del mismo y la disposición de la válvula de admisión, hacen que el aire tenga que adquirir un movimiento rápido de revolución que se mantiene durante el tiempo de compresión de la manera que se puede ver en B. A este movimiento de rotación central, se le añade, durante la compresión, un nuevo movimiento transversal (C) que se ocasiona con el aire que el émbolo va recogiendo de las paredes del cilindro, torbellino transversal que se comporta del modo que se puede apreciar en D de nuestra figura 6. El resultado de la superposición de ambos torbellinos lo podemos ver en el dibujo E en donde la actividad de las corrientes de aire está bien preparada para recibir el chorro procedente del inyector (1). La niebla del combustible, tal como se aprecia en F, se mezcla con cierta rapidez con el aire que está en constante movimiento.

Siguiendo este concepto de turbulencia se han conseguido muchos excelentes motores para automoción que han sido aplicados a los autocamiones. El estudio de las cámaras en la cabeza de los émbolos ha dado origen a una prolija investigación tratando de combinar estas formas con los orificios de los inyectores y la dirección del dardo o chorro de combustible que éstos proporcionan. En la figura 7 tenemos, por ejemplo, diversos tipos de cortes de cámaras de combustión de inyección directa y doble turbulencia que guardan parecido con la cámara que vimos en la figura 6. En A tenemos este tipo de cámara mientras en B y C se pueden ver tipos más reducidos para conseguir un mayor grado de relación de compresión además de una mayor turbulencia del aire durante su admisión y el movimiento del aire en la carrera del émbolo. En el caso C hay que destacar, como un inconveniente grave, la dificultad de eliminar el calor que se produce en los picos que se hallan rayados en la figura, pues alcanzan un alto grado de calor acumulado que no da tiempo de evacuar. En estos casos se han observado grietas y deterioro rápido de los émbolos. Cámaras similares a la B las utilizó por primera vez la famosa fábrica de motores SAURER, por lo que es conocida en los medios técnicos como *cámara de tipo* SAURER.

La inyección directa con turbulencia también ha ensayado las cámaras esféricas, del tipo que se aprecia en los esquemas de la figura 8. Este tipo de cámaras, utilizadas por la fábrica de motores Diesel alemana MAN son conocidas también con el nombre de esta fábrica. La forma de efectuarse la turbulencia la podemos ver en la figura 9. En *a* tenemos un ejemplo del momento de la entrada del aire gracias a un conducto helicoidal en la zona donde se

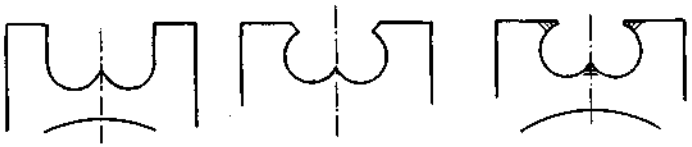


Figura 7. Diversos perfiles de cabezas de émbolo formando tres versiones de cámaras de combustión en motores Diesel de inyección directa de doble turbulencia.

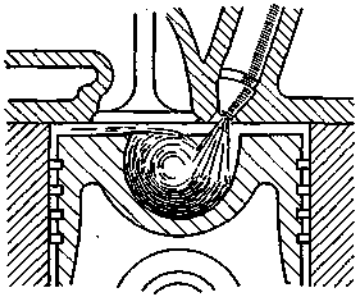


Figura 8. Cámara de combustión de turbulencia, de inyección directa, del tipo MAN.

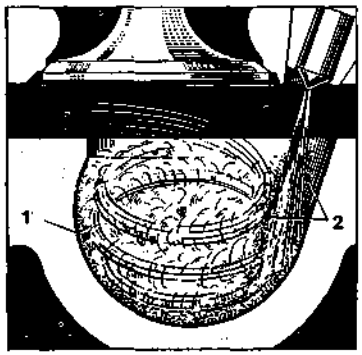


Figura 9. Forma de producirse la turbulencia y la combustión en la cámara de la figura anterior.

halla la válvula de admisión, que imprime la turbulencia de entrada. En *b* tenemos la situación producida en el momento de la combustión: el aire está en rápido movimiento mientras el chorro de combustible sale por el inyector, y se reparte por la superficie esférica de la cámara (1) iniciándose desde estas zonas la combustión ya que el combustible se evapora desde esta zona y se mezcla rápidamente con el aire caliente en movimiento que ocupa la parte más central de la esfera.

Ventajas e inconvenientes de la inyección directa

La inyección directa es, evidentemente, un sistema muy sencillo de aplicación y además permite obtener unas presiones máximas de combustión más elevadas que los otros sistemas de inyección indirecta que ya estudiaremos; tiene menores pérdidas de calor y por lo tanto no requiere de relaciones de compresión tan elevadas, todo lo cual se traduce en un mayor rendimiento. En algunos motores dotados de este sistema se llega a un consumo de 150 g/CV/h, lo que viene a representar un rendimiento de un 40 %, cifra verdaderamente considerable. Debido a su mejor concentración del calor, los motores provistos de inyección directa no suelen necesitar dispositivos para facilitar el arranque, tales como la bujía de precalentamiento que es indispensable en los motores de inyección indirecta.

Sin embargo, en su capítulo de inconvenientes reúnen algunos que son muy poco favorables para su desarrollo en los motores de automóvil. Por ejemplo, no pueden alcanzar un número de r/min tan elevado como en el caso de los motores de inyección indirecta, lo que los convierte en más pesados que éstos a igualdad de potencia. Consecuentemente pierden poder de aceleración entre otras razones porque han de arrastrar más peso. Por otra parte, no menos importante, resultan motores más duros y secos que los de inyección indirecta, lo que se traduce en una marcha mucho menos suave y una mayor producción de ruidos, temas nada adecuados para su aplicación en el automóvil, sobre todo si se trata de emular a los motores de explosión. Otro nuevo inconveniente lo podemos añadir en el terreno de los humos: los motores de inyección directa son mucho más humeantes que los de inyección indirecta, otra dificultad que el automóvil no acepta con facilidad.

Por último, a pesar de su sencillez, el motor no resulta más barato ya que el equipo de inyección precisa de unos inyectores de mayor calidad que deben pulverizar mucho más fino para poder atomizar al máximo el combustible. El hecho de pulverizar más requiere más orificios y más pequeños y en su consecuencia, al ser menor la masa de combustible proyectada para cada fina gotita, se requiere una mayor presión de la bomba, que se suele establecer entre los 175 a 300 kg/cm^2. Por si ello fuera poco, el filtrado del combustible debe ser mucho más severo pues al ser los orificios más pequeños podrían obturarse con impurezas de menos diámetro que existieran en el combustible, todo lo cual hace necesario el filtraje muy preciso del gasóleo. En los motores

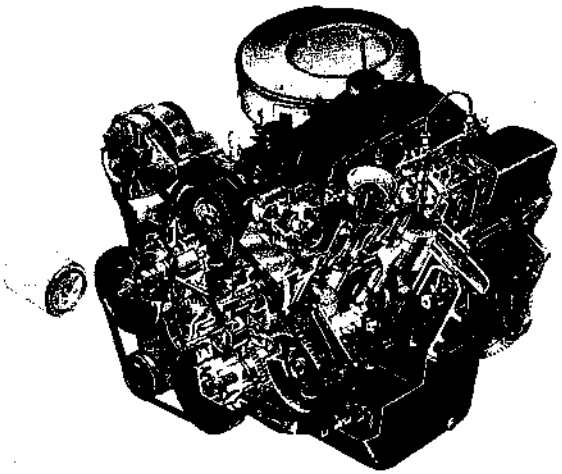


Figura 10. Vista seccionada de un motor ligero Diesel de inyección directa diseñado por la casa FORD para equipar sus furgonetas pequeñas.

pequeños, como serían los de automóvil, los orificios de salida del combustible por la punta del inyector han de ser todavía más pequeños que en los motores medianos de camión, por lo que se corre el peligro de que los orificios se vayan obturando por la presencia de residuos carbonosos, lo que significa una delicada labor de limpieza y mantenimiento que no es aconsejable en los motores que ha de utilizar un público generalmente poco entendido como es el usuario de un automóvil.

Pese a estos inconvenientes, los ingenieros saben que lo mejor que puede darnos un motor es su alto rendimiento, y saben también que, por hoy, el motor Diesel de inyección directa es el que alcanza los mayores porcentajes de rendimiento dentro de las máquinas de combustión interna. Por esta razón se está trabajando en los centros de investigación para conseguir eliminar los defectos de los motores de inyección directa en los vehículos automóviles, es decir, conseguir hacerlos girar a un elevado número de r/min y, además, conseguir también una mejor flexibilidad del motor de modo que pueda girar con igual facilidad y acierto a cualquier número de r/min a que se le someta. La solución de estos problemas fundamentales podría proporcionar al automóvil motores Diesel de consumos asombrosamente bajos, y en ello, como decimos, se está trabajando. Un ejemplo de motor rápido de inyección directa lo tenemos en el motor FORD de la figura 10 estudiado con los fines que acabamos de mencionar. Se trata de un motor de 2.500 cm^3 de cilindrada total que se aplica por el momento a furgonetas. En este motor se ha potenciado al máximo la turbulencia del aire para obtener la mayor rapidez posible en la combustión, factor clave para conseguir resultados positivos en esta clase de motores de inyección directa. En la figura 11 se muestra el aspecto de la cámara de combustión al recibir el aire en turbulencia que accede del conducto de admisión a través de la válvula del mismo nombre.

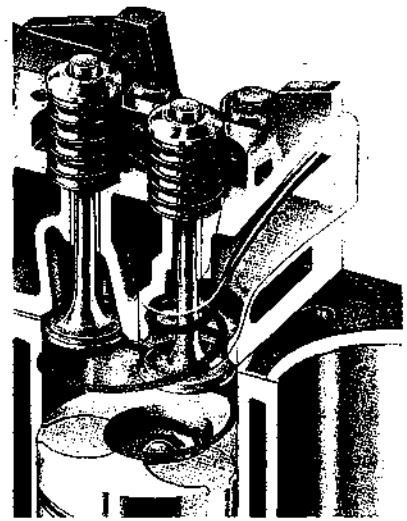


Figura 11. Vista de la cámara y la turbulencia del aire al entrar en el cilindro en el motor de la figura anterior.

Por hoy, sin embargo, los motores Diesel que se han mostrado más competitivos y afines con el motor de gasolina es el equipado con tipos de inyección indirecta a los cuales vamos a dedicar las siguientes páginas.

Motores Diesel de inyección indirecta

La manera de conseguir aumentar la potencia de un motor sin aumentar su cilindrada (y en virtud de ello, sin aumentar su peso) se relaciona principalmente con el aumento de su régimen de giro. La realidad es que este aumento de potencia se circunscribe, en última instancia, a hacer consumir más combustible al motor en igualdad de tiempo o, dicho de otra manera, un motor resulta tanto más potente cuanto mayor caudal de combustible es capaz de

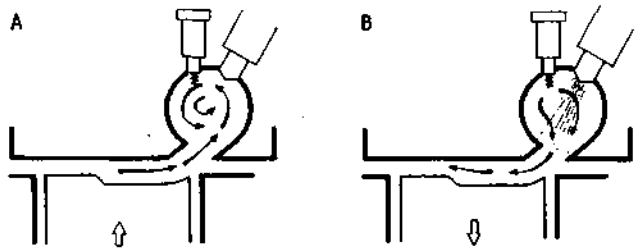


Figura 12. Forma de producirse la turbulencia en las cámaras de inyección indirecta. A, el aire entra en torbellino. B, momento de la inyección.

consumir en una unidad de tiempo (por supuesto siempre debidamente quemado). En estas condiciones conviene que el motor Diesel disminuya su relación peso/potencia a base de aumentar su régimen de giro.

Ahora bien: para aumentar el régimen de giro se precisa ante todo conseguir unas combustiones muy rápidas, con sus demoras físicas y químicas reducidas al mínimo, y también con un proceso de combustión lo más rápido posible. De todos los motores Diesel existentes solamente los dotados con sistemas de inyección indirecta han sido capaces, hasta este momento, de mostrarse competitivos con el motor de explosión que, como es sabido, es capaz de girar a un altísimo número de r/min gracias a la rapidez con la que puede efectuar la combustión de su mezcla.

La inyección indirecta es aquella que se produce inicialmente en una cámara de combustión postiza y separada del émbolo propiamente dicho, de modo que la inyección no se produce directamente sobre el émbolo, como es el caso de la inyección directa que hemos estudiado, sino en un lugar aparte. De ahí su nombre de indirecta.

En la figura 12 tenemos un esquema que va a servirnos para estudiar un caso de inyección indirecta, ya que muestra dos fases importantes de la misma durante el recorrido del aire y la inyección. En A tenemos el momento en que el émbolo ha acabado de ascender a su PMS en el tiempo de compresión. El aire comprimido es forzado a pasar por el orificio de estrangulamiento que da acceso a la cámara —o mejor, recámara— con un violento movimiento de turbulencia que se mantiene mientras el émbolo empuje al aire. Poco antes de la llegada al PMS se inicia la inyección (parte B de la figura) que se produce en pleno torbellino del aire que entra en la recámara, de modo que el combustible es rápidamente oxidado y evaporado y se produce muy rápidamente el autoencendido. En este momento, aumenta a grandes valores la presión en esta recámara lo que obliga a los gases que todavía no se han quemado a terminar su combustión mientras son lanzados por el orificio de estrangulamiento en sentido contrario al de entrada y sobre el aire limpio que queda sobre el émbolo, ayudado todo ello por el movimiento de aspiración que ejerce el émbolo al bajar en su carrera, consiguiéndose de esta manera una mezcla muy enérgica.

En estos motores la combustión final queda como un poco separada de la primera que se ejerce en la recámara por lo que la presión máxima que se alcanza resulta bastante inferior a la lograda con una inyección directa. De ahí el menor rendimiento de los motores dotados con estas cámaras; pero tienen varias importantes ventajas que relacionaremos más adelante entre las que cabe destacar ya, su mayor rapidez del proceso de combustión y con ello su mayor posibilidad de aumentar su régimen de giro, lo que quiere decir mayor potencia con el mismo peso.

Diferentes tipos de inyección indirecta

En los motores de automóvil actuales podemos encontrar, con preferencia a otros sistemas, dos tipos de inyección indirecta. Estos dos tipos son:

a) Cámara de turbulencia Ricardo
b) Cámara de precombustión

Existen también otros tipos de cámaras que son menos utilizados tales como las *cámaras de reserva de aire* y el tipo *Aeroflow* que había ensayado la casa PERKINS, pero no se utilizan por el momento en los motores rápidos de automóvil. Las primeras reciben también el nombre de cámaras de acumulación y nos ocuparemos muy brevemente de ellas al final de este capítulo.

a) Cámara de turbulencia Ricardo

En la figura 13 tenemos un corte seccionado de una culata en la que se puede ver con toda claridad la disposición de la cámara de turbulencia de tipo Ricardo. En este caso concreto pertenece a un motor CITROEN, modelo CX 25D. Lo interesante de esta figura es que nos muestra la posición de la cámara (1) provista de su orificio de estrangulación (2) que se hallará en contacto con el interior del cilindro cuando la culata está montada sobre el bloque. Como puede observarse, esta cámara no se halla refrigerada y está compuesta de una pieza postiza que se adapta al material de la culata de modo que es recambiable. En la parte alta se halla colocado el inyector (3) que puede ser de un solo orificio ya que en este tipo de motores no tiene tanta importancia ni la longitud del chorro y su diminuta pulverización pues la mezcla queda establecida gracias a la violenta turbulencia que se está produciendo en la cámara cuando la inyección se produce. Por lo tanto el inyector puede ser mucho más sencillo que los utilizados en la inyección directa y también la presión de la bomba puede ser sensiblemente menor. Por otra parte, en 4 de esta misma figura

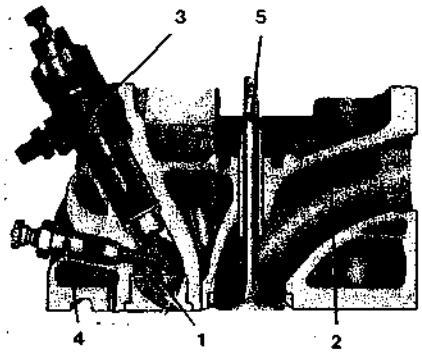


Figura 13. Cámara de turbulencia Ricardo en un motor de inyección indirecta. 1, cámara de turbulencia. 2, orificio de estrangulación. 3, inyector. 4, bujía de precalentamiento. 5, válvula de admisión.

tenemos la bujía de precalentamiento que sirve para facilitar el arranque del motor en frío. En efecto, como quiera que por este sistema la pulverización del combustible no es nunca tan perfecta como por el sistema de varios orificios usado en la inyección directa, cuando la cámara se halla fría absorbe con demasiada facilidad el calor del aire comprimido y éste no logra la suficiente temperatura como para producir un autoencendido satisfactorio del gasóleo inyectado. Este defecto se hace desaparecer si unos segundos antes de poner el motor en marcha se conectan las bujías de precalentamiento que por medios eléctricos desarrollan el suficiente calor como para que la cámara se caliente previamente, de modo que no robe calor al aire en torbellino y se pueda producir con cierta normalidad el encendido del combustible. Finalmente, en la figura 13 tenemos en 5 la posición de la válvula de admisión.

Este tipo de cámara de turbulencia recibe el nombre de *cámara Ricardo* porque fue estudiada y puesta en práctica por el ingeniero inglés Harry Ricardo, que trabajaba para la casa LEYLAND de esta nacionalidad. Se aplicó a unos motores de camión del modelo *Comet* por lo que a veces se la nombra también con el nombre de cámara Comet o bien cámara Ricardo-Comet. Es sin ninguna duda el tipo de cámara más utilizada en los motores de automóvil y muy especialmente en los que son de pequeña cilindrada. Si ahora repasamos las figuras anteriores del libro podremos ver que en los ejemplos concretos de diferentes marcas de motores Diesel este tipo de cámara es el más corriente. La utilizan mucho los motores de origen francés. En la figura 14 tenemos, por ejemplo, una cámara de este tipo de un motor Diesel PEUGEOT para turismo que presenta ligeras variantes con la que hemos presentado en la figura 13, pero es sustancialmente igual.

Los motores provistos de cámara de turbulencia del tipo Ricardo han de tener por lo menos una relación de compresión de 20:1 y resultan frecuentes

valores de 23:1 para conseguir al mismo tiempo una más enérgica turbulencia y una mayor temperatura del aire. Como que de este modo se consiguen grandes turbulencias el encendido es muy rápido y la combustión se efectúa de un modo muy suave en comparación a los motores Diesel de inyección directa. A ello contribuye además el hecho de que las presiones de combustión no son tampoco tan altas y ofrecen una suavidad de funcionamiento que da pie a menores esfuerzos para los órganos móviles del tren alternativo, por lo que éstos no tienen necesidad de ser tan robustos como en los motores que usan otros sistemas y se puede pensar en aligerar las masas. Todo ello contribuye a facultar para conseguir un aumento de las r/min del motor y con ellas se aumenta la facilidad para obtener mayores potencias con cilindradas y pesos menores. Hoy en día ya es frecuente que los motores de este tipo giren a 5.000 r/min de máxima, obteniendo sus potencias máximas alrededor de las 4.000 a 4.200 r/min cifras que explican el buen éxito que están obteniendo entre los usuarios del automóvil muchos de los cuales descubren en el Diesel el motor ideal para su forma de conducir, además, por supuesto, de las razones económicas de su considerable menor costo por kilómetro recorrido.

Para finalizar este tema veamos algunos ejemplos de utilización de estas cámaras de turbulencia Ricardo Comet. En la figura 15, por ejemplo, tenemos una vista del motor PEUGEOT, modelo XUD 7 que equipa a los automóviles de la marca CITROEN, modelos *Visa*. Aquí, entre culata y bloque de cilindros, puede verse la disposición de la cámara relacionada con el resto de los elementos del motor.

Otro tipo de motor es el presentado en la figura 16 correspondiente a un TOYOTA Diesel de cuatro cilindros, en el que puede apreciarse también la presencia de la cámara de combustión de turbulencia de tipo Ricardo Comet.

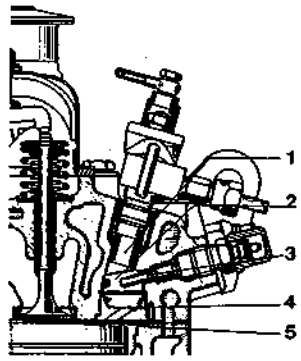


Figura 14. Estructura de la cámara de turbulencia de un motor PEUGEOT. 1, inyector. 2, cámara. 3, bujía de precalentamiento. 4, pieza postiza de la base. 5, alvéolo en forma de trébol, en la cara superior del émbolo.

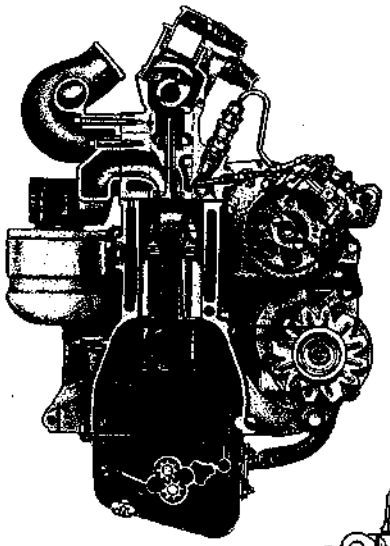


Figura 15. Vista del motor Diesel PEUGEOT, modelo XUD 7, mostrando la disposición de la cámara de turbulencia en relación con toda la parte móvil del motor.

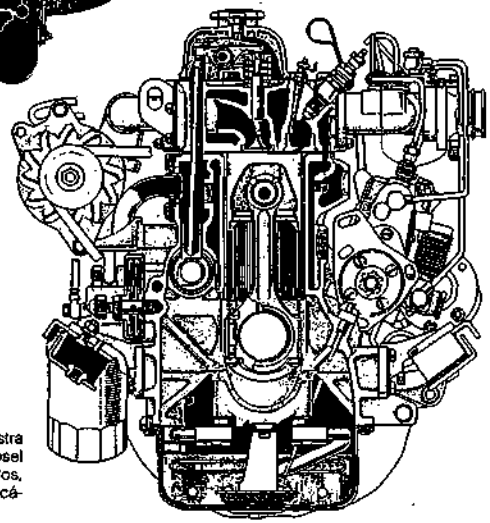


Figura 16. Dibujo que muestra el conjunto del motor Diesel TOYOTA, de cuatro cilindros, con la disposición de su cámara de turbulencia.

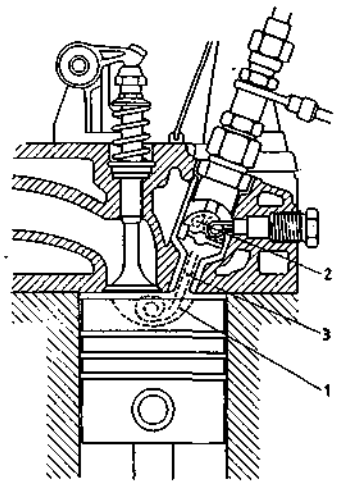


Figura 17. Vista del conjunto de la combustión de un motor provisto de cámara de precombustión. 1, cámara ubicada en la parte alta del émbolo. 2, antecámara. 3, orificio de estrangulamiento.

b) Cámara de precombustión

Otra forma de hacer una cámara de combustión rápida para los motores Diesel que han de girar a un elevado número de r/min consiste en el sistema que se ha dibujado en la figura 17. Este sistema participa en cierto modo de las inyecciones directas e indirectas ya que su funcionamiento es como sigue: En primer lugar hay que decir que la verdadera cámara de combustión queda ubicada en la parte alta del émbolo (1) como si se tratara de un motor de inyección directa aunque de más pequeñas dimensiones. Por otra parte consta también de una antecámara (2) provista en su parte baja de un orificio o conducto de estrangulamiento (3) de modo parecido a la cámara de turbulencia que acabamos de estudiar. Esta antecámara resulta cilíndrica en vez de la forma esférica típica de las cámaras Ricardo.

Cuando se produce la compresión el aire penetra en la antecámara y efectúa allí su compresión con un cierto flujo de torbellino. Poco antes del PMS (final de la carrera de compresión) el inyector escupe el combustible sobre el aire de la antecámara y se mezcla rápidamente con el aire reinante creándose como una mezcla muy rica, pero ya en proceso de combustión, que al iniciar su expansión sale por el conducto de estrangulamiento (3) con fuerza, como una nueva inyección, sobre el aire limpio que queda en la verdadera cámara de combustión, que es la que se encuentra en la parte alta del émbolo. El aire

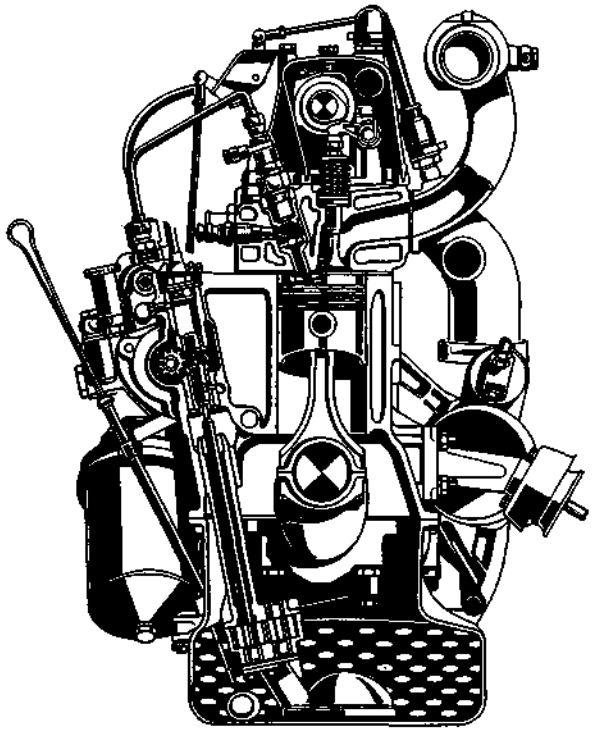


Figura 18. Motor MERCEDES-BENZ de inyección indirecta y provisto de cámara de precombustión. Se trata del modelo OM 615.

limpio se mezcla ahora con esta mezcla rica que penetra en la cámara a presión y se efectúa el total de la combustión con bastante suavidad, sin la presencia de súbitas y bruscas elevaciones de la presión.

Esta forma de proceder en la combustión justifica el nombre que reciben estas cámaras, llamadas de *precombustión*, ya que, como hemos visto, la combustión se realiza en parte y previamente en estas pequeñas cámaras. Generalmente se admite que del volumen total constituido por el aire comprimido, la antecámara suele llevarse un tercio correspondiendo los dos tercios restantes

a la cámara que se halla en el interior del cilindro cuando el émbolo está en su PMS. Por esta razón, cuando sale el combustible en su estado de precombustión por el orificio de estrangulamiento lo hace a tal velocidad que crea en la cámara grande un verdadero y rápido movimiento de turbulencia que ayuda a que se produzca de una manera muy completa el resto de la combustión.

El sistema de cámaras de precombustión admite, al igual que el sistema de cámaras Ricardo, unos inyectores sencillos, de un solo orificio, por lo que es difícil que lleguen a obstruirse. También precisa una presión de inyección relativamente discreta entre 80 a 150 kg/cm^2, ligeramente superior al sistema Ricardo, pero, en general, permite la utilización de equipos baratos con respecto a lo que los motores de inyección directa nos tienen acostumbrados a este respecto.

La casa MERCEDES-BENZ se ha distinguido por el estudio y perfección a que ha llevado a cabo este tipo de cámaras. En la figura 18 tenemos el motor de esta marca modelo OM 615, donde el lector puede ver la disposición del conjunto de las cámaras junto con los demás órganos principales de este motor Diesel, de inyección indirecta con antecámara.

Comparación entre los motores de inyección directa e indirecta

Cuando un motor Diesel se aplica al automóvil, vehículo que durante tantos años ha sido propulsado por el motor de explosión, se hace inevitable la comparación entre ambas plantas motrices. En lo que respecta a la potencia, por ejemplo, hace unos años, durante la década de los setenta, se consideraba que un coche mediano debía tener un motor que le proporcionara alrededor de los 60 CV para estar en condiciones de prestar un buen servicio. Diez años después nos encontramos que un modelo similar ya salía de fábrica con potencias del orden de los 80 CV para prestar de hecho el mismo servicio. En estas mismas fechas los motores Diesel estaban dando de 55 a 65 CV lo que continuaba siendo muy razonable, por lo menos tan razonable como los automóviles de los años setenta, pero ya no admitían comparación sobre el papel con los motores de los años ochenta.

No se trata pues de si el motor Diesel es bueno o malo para propulsar a un automóvil en cuanto a su potencia, sino más bien si reúne una serie de cualidades que lo hagan semejante a los motores de explosión, jugando, por supuesto, su mejor carta que es la de su más alto rendimiento (y por lo tanto su menor consumo) y el bajo precio del combustible.

Para ello el motor Diesel tiene que ser lo más silencioso posible porque el motor de explosión lo es mucho en comparación con el Diesel; tiene que ser lo menos humeante posible ya que los productos de su combustión se destacan al salir a la atmósfera mucho más que los productos de la combustión del motor de gasolina; tiene que limitar sus vibraciones y conseguir un equilibrado de masas de acuerdo con sus mayores presiones; y, finalmente, tiene que abaratar su precio para estar en consonancia con el motor de gasolina.

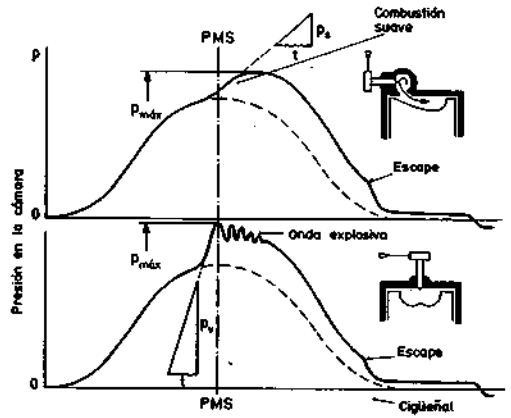


Figura 19. Curvas de la presión de combustión en función de la forma de la cámara.

Para lograr estos grandes objetivos el motor Diesel ligero y moderno se ve obligado a renunciar a algunas de sus características que le proporcionan el mejor rendimiento y tiene que acudir a los motores de inyección indirecta para conseguir «civilizar» sus esfuerzos.

En la figura 19 tenemos esquematizadas las curvas que se producen según el tipo de inyección. En la parte inferior queda representado el proceso de la combustión en el caso de la inyección directa. Comparando estos gráficos con el que vimos en la pasada figura 4 vemos como la presión dentro de la cámara aumenta rápidamente y asciende a su presión máxima en el mismo PMS produciendo una enérgica onda explosiva de un valor irregular u oscilante, pero todo ello ocurre en una zona muy próxima al PMS. Es lo que se trata de representar en el triángulo que se ha dibujado en el interior de la curva: véase como el tiempo es breve y la presión (P_v) muy elevada.

Por otra parte, en la zona superior de la figura tenemos la comparación con la curva producida en el sistema de inyección indirecta. A partir de la línea que indica el PMS se inicia la combustión mucho más suave en donde el crecimiento de la presión (P_s) permanece más tiempo (t) presionando sobre el émbolo que desciende. Con esto se consigue eliminar al mismo tiempo una importante fuente de ruidos y de vibraciones, cosa que no se ha podido lograr hasta ahora con los motores de inyección directa.

Los motores de inyección indirecta y especialmente los de cámara de turbulencia del tipo Ricardo tienen además la ventaja de que pueden adaptarse

a los motores de gasolina ya existentes, de modo que son muchas las piezas básicas que pueden ser comunes en ambos motores de automóvil. Ello contribuye a abaratar el precio del motor, otra de las cualidades que hemos considerado importantes.

Es difícil que el motor de inyección directa invada con tanto éxito el terreno del automóvil. Sin embargo se está trabajando con intensidad para lograr adaptarlo a las condiciones que este vehículo impone, y ya se han hecho algunos motores, como el que podemos ver en la pasada figura 10, en los que se han atenuado muchos de los defectos propios de este sistema. De todos modos, este motor FORD a que nos referimos se monta en las furgonetas de la marca, que por su característica de transporte ligero no son sus usuarios tan exigentes como lo son los conductores de los automóviles, de modo que todavía hay que recorrer un buen camino para que la inyección directa se pueda aplicar con éxito a los motores pequeños.

Otros tipos de cámaras

Con el solo objetivo de que el lector tenga una mayor información sobre este tema de las cámaras de combustión, vamos a describir brevemente otros tipos de cámaras que han sido estudiados para los motores Diesel con el fin de mejorar el proceso de la combustión. El objetivo fundamental de todo estudio en este aspecto es, sin duda, el de obtener una mejor y más rápida obtención de la mezcla o, dicho de otro modo, un mejor aprovechamiento del aire. Aunque el aire no tiene ningún valor económico, los motores dedicados a la automoción no pueden aumentar tranquilamente sus cilindradas con el solo fin de poder disponer de un mayor caudal de aire. Ello en primer lugar, porque representa un aumento de peso que hay que transportar, y en segundo lugar porque el aire hay que comprimirlo y en esta operación absorbe una buena potencia, de modo que disponer en la cámara de un exceso de aire exagerado si bien asegura una buena combustión, reduce el rendimiento práctico del motor por la potencia cedida en el momento de la compresión inútil para el aire sobrante. Por esta razón lo que hay que buscar en las cámaras no es tanto el aumento de su caudal de aire como el aprovechamiento del mismo, y en este estudio se han realizado muchos esfuerzos a lo largo de la historia del motor Diesel.

En la figura 20 tenemos, por ejemplo, el diseño de una cámara mixta de turbulencia desarrollada por la casa inglesa PERKINS, también conocida con el nombre de *Aeroflow*. El orificio de estrangulamiento típico de las cámaras de turbulencia resulta en este sistema muchísimo más amplio de modo que se crea un compromiso intermedio entre la inyección directa y la indirecta. El aire que penetra por el orificio de estrangulamiento crea en la cámara superior un verdadero torbellino de aire comprimido al que el inyector alimenta con chorros de diferente dirección y penetración. Se pretende con ello que la mezcla del aire con el combustible sea a la vez que más rápida más homogénea

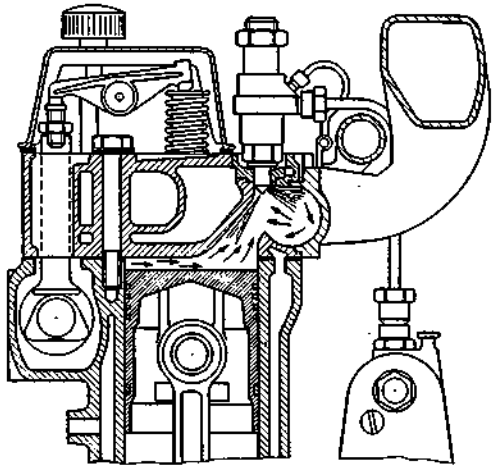


Figura 20. Cámara mixta de turbulencia, de tipo Aeroflow, de la casa PERKINS.

sin renunciar a las ventajas que la combustión directa tiene y que ya expusimos en su momento.

Otro sistema también estudiado por PERKINS bajo la misma idea es el presentado en la figura 21 que puede interpretarse como una variante del sistema anterior. La diferente posición del inyector en el mismo orificio de estrangulamiento hace que la cámara participe con mayor eficacia de las ventajas de la inyección directa. Sin embargo, el aire acumulado en la antecámara (1) y su flujo de entrada y salida, sigue participando también de ciertas ventajas que presentan las cámaras de turbulencia en la inyección indirecta. Como en el caso anterior también se producen dos chorros por parte del inyector buscando siempre las zonas donde se encuentra la mayor cantidad de aire. La principal ventaja de esta cámara consiste, además de su buena homogeneidad de la mezcla lograda, su facilidad de arranque, de modo que ni siquiera precisa de bujía de precalentamiento ya que el chorro (2) del inyector se comporta aquí con las mismas ventajas que un motor de inyección directa.

Este tipo de cámaras PERKINS han sido utilizadas en los motores de autocamiones, pero no se han experimentado de una manera seria para automóviles, por el momento.

Otro tipo de cámara de combustión que combina la inyección directa con la turbulencia propia de la inyección indirecta es la presentada en la figura

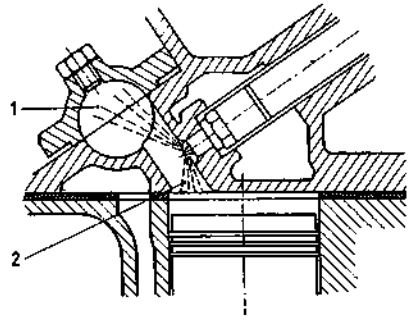


Figura 21. Cámara de turbulencia PERKINS con otra disposición del inyector.

22. La característica más destacable de esta figura es, sin duda, la cámara o celda de aire que se halla en contacto con la parte ancha de la cámara de combustión. El objetivo de esta celda de aire consiste en proporcionar un aire adicional a la combustión cuando el émbolo ya desciende, completando un proceso de post-combustión por la aportación de nuevo aire que sale además a través del orificio (1) de la celda a gran velocidad e imprime un movimiento de turbulencia a toda la masa de combustible que se está quemando. En efecto: el comportamiento de esta cámara se explica como sigue. Durante el tiempo de compresión el aire asciende hacia la cámara de combustión y, forzado por la presión, se introduce también en la celda de aire a través del ori-

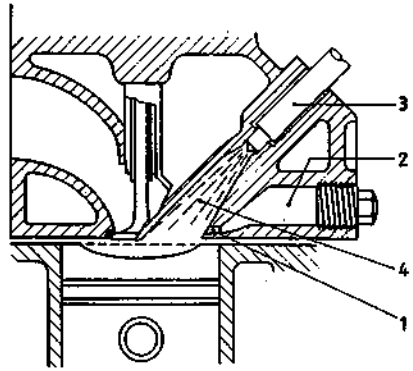


Figura 22. Cámara de combustión con celda de aire. 1, orificio de paso a la celda de aire. 2, celda de aire. 3, inyector. 4, cámara.

ficio (1) en donde adquiere la presión de compresión propia del motor. Cuando se produce la inyección se comienza a quemar la mezcla inicial que se produce mientras el émbolo supera el PMS; luego el émbolo comienza a descender y cuando la presión tiene un valor inferior al que existe en el interior de la celda de aire, éste sale oxidando parte de la mezcla que todavía no se había quemado del todo. Este sistema hace que la combustión sea más suave y guarde cierto parecido a lo que ocurre con los motores dotados de cámara de turbulencia e inyección indirecta.

Se han estudiado además otros tipos de cámaras más o menos ingeniosas pero no vamos a extendernos en explicaciones de este tipo ya que, en la realidad, lo más corriente que vamos a encontrar son las cámaras de turbulencia para los motores de automóvil, ya sean del tipo Ricardo Comet o bien del tipo MERCEDES de antecámara. Algunas fábricas importantes y con gran experiencia en la fabricación de los motores Diesel, tales como la FIAT, por ejemplo, también pueden hacer cámaras con ligeras variantes a lo estudiado. A tal efecto recordemos que en el capítulo 3, al hablar de este mismo tema desde el punto de vista mecánico, tuvimos ocasión de ver en la figura 11 de este citado capítulo, la cámara de combustión de un motor FIAT Diesel construido para los modelos más pequeños de la marca italiana. Esto puede servirnos de ejemplo de las variantes que sobre el mismo tema pueden hacerse; sin embargo, responden siempre a la misma teoría de la turbulencia a que debe ser recibida la inyección para mejorar la mezcla.

El picado

Para finalizar el tema de la combustión vamos a hablar de uno de los fenómenos importantes que pueden producirse durante la combustión y que pueden presentar algunas consecuencias para el motor: nos referimos al *picado*, también conocido con el nombre de detonación.

Podría definirse el picado, de una manera muy simple, diciendo que se produce en aquel momento en que las presiones en el interior de la cámara de combustión (o durante ésta) adquieren valores superiores —o a veces muy superiores— que aquellos que se espera que normalmente tenga. En los motores de explosión el picado puede alcanzar a veces valores muy altos y peligrosos para la integridad del motor; sin embargo, en los motores Diesel, mucho más robustos, suelen estar facultados para soportar el picado entre otras cosas porque habitualmente este fenómeno se produce en la combustión Diesel de una forma moderada pero presente. Ahora bien: el picado debe ser controlado para que se mantenga dentro de los valores que el motor está facultado para soportar. Veamos esto con mayor detalle: En el motor Diesel sabemos que se necesita bastante tiempo para preparar el encendido de acuerdo con todos los pasos que hemos estudiado anteriormente. También sabemos que disponemos de muy poco tiempo para que la combustión completa se realice. Cuando se produce la ignición de la mezcla se encuentra ya en la cámara la mayor parte del combustible a inyectar, de modo que esta mezcla arde de

golpe. En este momento se produce una elevación súbita de la temperatura cuyo límite está aproximadamente, entre las dos a tres barias por grado de giro del cigüeñal. Cuando esto se produce del modo descrito el motor resulta enérgico, brusco y ruidoso pero está funcionando dentro de sus posibilidades, y el ruido que produce es ya ruido de picado porque es seco y própio de una buena combustión y de un motor con buena respuesta. Sin embargo este picado no es preocupante sino todo lo contrario.

El problema aparece cuando, durante la combustión, la presión sube a más de las tres barias por grado de giro del cigüeñal pues entonces el picado comienza a adquirir valores alarmantes que se delatan por el ruido metálico, agudo y desacompasado que se delata a cada combustión. Así aparece en el motor Diesel el picado que hay que observar y eliminar.

El picado resulta nocivo porque perjudica a los puntos móviles de unión del tren alternativo y muy especialmente a los cojinetes. La excesiva presión en éstos escupe la película de aceite que se debe crear entre ambas superficies rozantes de modo que por unos momentos el roce se produce metal contra metal. El desgaste se acelera de un modo considerable y pronto podrían aparecer caídas en la presión de aceite y ruido de bielas por fusión de sus cojinetes dichos. Además, las presiones así provocadas suelen ser tan altas que incluso pueden esperarse en los grandes motores a base de erosiones en las paredes del cárter o de los cilindros pues el dardo escupido de aceite por parte de los cojinetes puede llegar, después de proyectarse muchas veces sobre una zona determinada, a producir estas erosiones.

Puesto que la medición de las presiones internas durante el funcionamiento del motor se hace imposible, el picado se delata por el ruido que un oído acostumbrado y atento debe saber distinguir. Y más que el ruido en sí es la tonalidad y la regularidad con que se produce este ruido lo que ha de manifestarnos la presencia del picado en el motor. Por otra parte, el picado se aprecia mucho más claramente con el giro del motor a marcha lenta o ralentí que con el motor en carga. Ello es debido a que la fase violenta de la combustión (aquella en que se superan los 3 bar que decíamos al principio) está constituida por la que podríamos denominar una primera parte de la combustión misma, es decir, estas altas presiones, incluso en un motor que pica, no se producen a lo largo de toda la combustión, sino solamente en la primera parte de la misma, la cual, por otro lado ha de producirse necesariamente con unos muy pocos grados de adelanto con respecto al PMS del émbolo para que el grueso de la combustión posterior cumpla con sus facultades de expansión adecuada. Es pues, en este preciso momento de cambio de dirección en su carrera por parte del émbolo, cuando puede encontrarse con grandes presiones momentáneas que constituyan un freno que se oponga a los cambios de situación de las holguras de los cojinetes con la consiguiente rotura de las películas de aceite que ellos poseen en su superficie de roce.

Ante este problema podría pensarse que la solución podría consistir en atrasar ligeramente la inyección de modo que este aumento súbito de la presión se llegara a producir en el mismo PMS o poco después, pero piénsese

que ello, si bien eliminaría los efectos nocivos del picado, haría bajar notablemente la potencia del motor ya que el émbolo recibiría los mejores efectos de la combustión en una situación de descenso nada favorable para aprovechar la energía total de la combustión.

Si el motor se hallara en tan mal estado que el retraso del encendido resultase excesivo ya sea por defectos en la compresión debidos a ovalización del cilindro, mal estado de los aros o válvulas con fugas, etcétera; o bien por un avance mal regulado o desgastes en la inyección, etcétera, la acumulación de combustible que encenderá violentamente crece y el picado puede llegar a hacerse inaceptable. En este momento se tendrán que tomar medidas para llevar a cabo una reparación del motor y eliminar estas causas que pueden acabar arruinando el motor rápidamente.

Cuando los cojinetes ya se han deteriorado, de modo que han adquirido un huelgo exagerado que está fuera de toda norma, el picado se nota más fácilmente porque el ruido se hace más audible y se nota a cada vuelta, y no cada dos como corresponde cuando el ruido es puramente de la combustión. Esto, por supuesto, en los motores de cuatro tiempos y referido al ruido que produce uno solo de los cilindros.

El picado es un fenómeno muy típico de los motores Diesel y especialmente distinguible en los motores de inyección directa. Los motores de este ciclo que van provistos de cámaras de turbulencia o de antecámaras con la inyección indirecta acusan mucho menos este defecto, y en los motores que actualmente se están fabricando para el automóvil se ha cuidado mucho que el picado desaparezca mejorando para ello la suavidad de la combustión que hemos comentado debidamente con anterioridad, pues, como se deduce de lo dicho, este fenómeno está centrado especialmente en la irregularidad que se produce cuando la combustión resulta muy violenta en una primera parte generalmente por un mezclado del aire y del combustible excesivamente lento. Los mecánicos de automóviles equipados con motores Diesel de inyección indirecta pueden mirar con mayor tranquilidad la presencia de estos fenómenos del picado que solamente se producen de una manera importante cuando el desgaste del motor ha llegado a un punto inadmisible.

Para terminar digamos que otra causa del picado puede venir provocada por el propio combustible si éste tiene un número de cetanos superior a aquel para el que fue construido el motor y diseñada su cámara y la forma de la inyección dentro de ella. Ya explicamos en su momento cómo el número de cetano afecta a la ignición de la mezcla y, consecuentemente, al avance o retraso del encendido. El paso de un combustible a otro diferente en este aspecto puede muy bien ser causa de un incremento del picado y es una posibilidad que el mecánico debe tener en cuenta a la hora de juzgar en un motor este tipo de anomalía.

En los motores Diesel de automóvil no suele ser, sin embargo, problema del combustible ya que el gasóleo distribuido en las gasolineras tiene un número de cetanos muy estable, o por lo menos dentro de límites que no pueden producir ninguna irregularidad en el motor, de modo que esta posibilidad hay que descartarla. Sin embargo sí hay que cerciorarse de que el usuario no haya utilizado gasóleo previsto para otros fines el cual se expende a más bajo precio que el gasóleo de automoción.

Con esto terminamos este capítulo dedicado a los problemas de la combustión y vamos a pasar seguidamente al estudio de la parte más diferenciadora del motor Diesel con el motor de explosión: nos referimos al circuito de inyección que un mecánico debe dominar con acierto después de conocer cómo se produce la combustión para hacer que ésta sea lo más perfecta posible.

5

LA INYECCION (I) LAS BOMBAS EN LINEA

En este capítulo vamos a iniciar el estudio de un importantísimo conjunto, clave para el funcionamiento del motor Diesel, un conjunto que debe cumplir la misión de dosificar e introducir dentro de una cámara de combustión llena de aire altamente comprimido, una cantidad necesaria y variable de combustible con la profundidad y dirección adecuadas para que la combustión pueda llegar a realizarse de la manera más conveniente. Si se trata de hacer comparaciones con el motor de explosión se puede considerar este conjunto, en cuanto a su función, no solamente como el carburador de estos motores sino, quizá más propiamente, como el carburador y el sistema de encendido reunidos en un solo equipo; pero las condiciones de funcionamiento deben ser, si no más precisas que las de un carburador y un sistema de encendido elétrico (que también tienen que desenvolverse con gran precisión en la aportación de la gasolina al aire y en el momento del salto de la chispa) sí por lo menos con presiones mucho más altas que han de determinar que el conjunto de todos los órganos del circuito de inyección de los motores Diesel deba ser, además de muy robusto, capaz de trabajar dentro de muy estrechas tolerancias.

Para tener una idea inicial de las condiciones de funcionamiento a que se ve sometida la inyección y todos sus componentes baste considerar que un motor Diesel rápido moderno, del tipo de los utilizados en los automóviles, alcanza su potencia máxima alrededor de las 4.500 r/min (aunque puede llegar

a girar hasta las 5.000 r/min en los motores de más baja cilindrada). Si se trata de un motor de cuatro cilindros y de cuatro tiempos ha de atender a la inyección de combustible en dos cilindros por cada una de las revoluciones del cigüeñal, de modo que a 4.500 r/min tiene que proveer 9.000 inyecciones en este mismo tiempo de un minuto. Es fácil darse cuenta de que esta cantidad equivale a 150 inyecciones por segundo. Por otra parte, la cantidad de gasóleo a inyectar a cada inyección resulta difícilmente imaginable por su pequeñez ya que puede establecerse en unos 23 miligramos en un motor de unos 1.600 cm^3, es decir, que con un gramo de gasóleo tenemos para hacer unas 43 inyecciones de combustible en un motor a plena carga.

A todo ello hemos de unir al mismo tiempo diferentes requerimientos que el tipo de cámara de combustión precise en lo que respecta a la longitud con que ha de ser lanzado el dardo del inyector, o al grado de pulverización que el sistema necesite, lo cual significa un aumento de la presión de inyección para que cantidades tan pequeñas de combustible sean lanzadas en finísimas gotas dentro de una atmósfera que se halla a una importante presión y temperatura, tal como es el caso del aire fuertemente comprimido que se halla en el interior de la cámara.

Pues bien: es evidente que todas estas características requieren el diseño y fabricación de elementos de una notable precisión y una mecánica muy fina llevada a cabo con el mayor cuidado y con tolerancias muy estrechas. Estos elementos que constituyen el sistema de inyección de un motor Diesel van a ser objeto de estudio en el presente capítulo. Como quiera que son muchos los tipos de motores Diesel —ya hemos visto algunas variedades cuando estudiábamos los tipos de cámaras de combustión— también las bombas de inyección y los inyectores son bastante variados, aún cuando, en el fondo, correspondan al mismo criterio de funcionamiento. Nosotros vamos a referirnos con preferencia a las bombas de inyección propias de los motores que se aplican a los automóviles hablando muy de pasada y sólo con el fin de una mayor comprensión de las bombas utilizadas en otros tipos de motores Diesel ajenos al automóvil.

Estructura básica de un sistema de inyección

Antes de lanzarnos al estudio pormenorizado de un sistema de inyección completo bueno será que veamos los elementos de que consta relacionados entre sí tal como nos los muestra la figura 1 en una instalación de bomba de inyección rotativa (3) que es el tipo más corrientemente utilizado en los motores Diesel de automóvil. Como puede verse, el combustible, procedente del depósito de combustible (1) pasa a un filtro decantador que tiene la importante misión de mantener siempre el combustible libre de impurezas que pudieran obturar los orificios de paso de la bomba y de los inyectores. Estos filtros, que tienen la máxima importancia en la práctica, han de mantenerse siempre en buenas condiciones sustituyendo siempre el elemento Purflux en el tiempo determinado por el constructor. En este caso concreto, este filtro

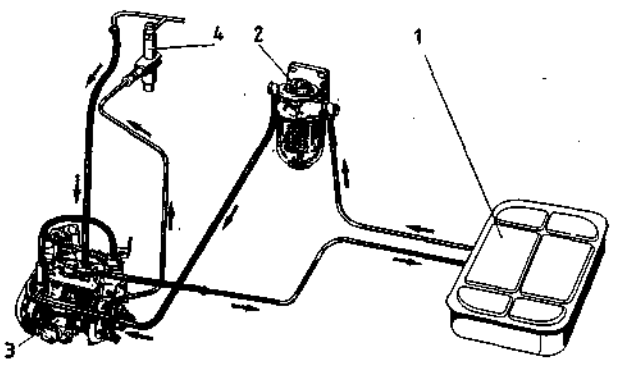


Figura 1. Elementos que forman el circuito de alimentación e inyección de un motor Diesel para automóvil. 1, depósito de combustible. 2, filtro con bomba de cebado. 3, bomba de inyección rotativa. 4, inyector.

(2) va provisto de una bomba manual de cebado para proceder a la prealimentación del circuito en caso de que éste no esté cebado, es decir del todo lleno de combustible.

El corazón de todo este sistema es sin duda la bomba de inyección (3) que es la encargada de recibir el combustible, darle la alta presión necesaria y mandarlo sucesivamente a cada uno de los inyectores que alimentan cada uno de los cilindros del motor. Ya veremos más adelante cómo trabajan estas bombas de inyección y especialmente los dos tipos de ellas que tienen más utilización en los motores ligeros actuales.

El último elemento mostrado en la figura 1 es el inyector (4) que no es precisamente una pieza que pudiera denominarse simple, aunque sólo sea por el hecho de tener que soportar las altas temperaturas y presiones de la cámara. En el dibujo solamente se ha representado un inyector pero hay, por supuesto, tantos inyectores como cilindros.

Por último, cabe decir que la instalación general de la inyección Diesel requiere además del conducto de alimentación que en el dibujo se ha señalado con flechas negras, un nuevo conducto de retorno o rebose que devuelve el combustible no utilizado al depósito para su posterior aprovechamiento. Más adelante entraremos en detalles del porqué de este sistema.

Otro tipo de instalación similar, pero esta vez relacionada con su ubicación en el motor la tiene el lector en la figura 2 destacada del conjunto general del mismo. Aquí tenemos en 3 otro tipo de bomba de inyección de las llamadas en línea que también tiene aplicación en los motores Diesel para automó-

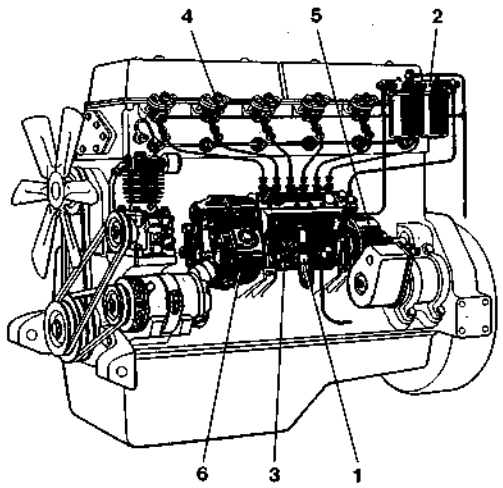


Figura 2. Elementos que forman el circuito de inyección en un motor Diesel provisto de bomba de inyección múltiple o en línea. 1, bomba de alimentación de combustible. 2, filtro principal. 3 , bomba de inyección. 4, inyector. 5, mecanismo de avance de inyección. 6, conjunto del regulador.

vil, como ya se verá con detalle más adelante. Los elementos que destacan en esta figura 2 son los siguientes: La bomba de alimentación (1) bombea el gasóleo hacia el interior del circuito a través de un prefiltro que se halla en ella. El combustible pasa en primer lugar al filtro (2) y de allí vuelve, asegurada su pureza, a la bomba de inyección en línea (3). Por medio de un eje de levas que determina el orden de inyección, y tras las órdenes que recibe de un regulador (6) y de un dispositivo de avance de la inyección (5), puede mandar combustible a alta presión a los inyectores (4) en el momento preciso para que se produzca la inyección en las cámaras. Este es, en líneas generales, el funcionamiento de un sistema de inyección.

Antes de dar por acabado este esbozo general de la estructura básica de uno de estos sistemas veamos en la figura 3 las cuatro más corrientes disposiciones que puede adoptar un circuito general de inyección, según el tipo de diseño de motor. En A tenemos la disposición clásica que se adopta en el caso de tener que alimentar grandes motores. En este caso se dispone siempre de una bomba para cada cilindro, aunque sean regidas por un solo eje de levas, y también un regulador para todas las bombas. Como quiera que se trata de

motores de enormes cilindradas, la cantidad de combustible aportado a cada inyección tiene ya bastante importancia y una monobomba comportaría complicaciones mecánicas y de montaje que con este sistema de bombas individuales para cada cilindro pueden ser obviadas.

En B de la citada figura 3 tenemos el tipo de bomba múltiple o en línea —sistema semejante al mostrado en la figura 2 anterior— en donde, en un solo grupo compacto, se reúnen una serie de cilindros de bombeo, tantos como inyectores tiene el sistema (o cilindros el motor). Estas bombas llevan incorporado el regulador y también el dispositivo de avance y son óptimas para los motores Diesel medianos que se utilizan en los autocamiones, en los que los motores alcanzan todavía cilindradas respetables. Sin embargo también se usan con éxito en los motores de automóvil como veremos más adelante.

En C, siempre de la figura 3, tenemos el sistema de bomba rotativa, de muy grande utilización en el mundo del motor Diesel para automóvil como se ha dicho. Su descripción corresponde a lo que ha quedado esbozado por medio del texto referido a la figura 1.

Por último, queda el sistema que se ha esbozado en D de la figura 3. Este sistema, desarrollado por la casa norteamericana CUMMINS, tradicionalmente muy buena constructora de autocamiones, consiste en un dispositivo en el que la bomba de inyección y el inyector forman parte de una sola pieza y van colocados en cada uno de los orificios correspondientes de la culata del

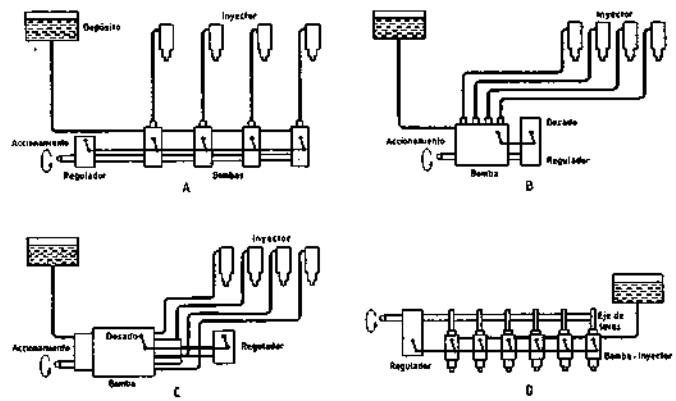


Figura 3. Esquemas de la disposición general de los sistemas de inyección más corrientes. A, bombas individuales para cada cilindro. B, bomba en línea. C, bomba rotativa. D, bomba-inyector.

motor. Este sistema se denomina también de colector en baja o, de una manera más gráfica, de inyector-bomba. Su principal ventaja es la simplificación mecánica que aporta; sin embargo, su uso no se ha popularizado en los motores de automóvil, por el momento.

De acuerdo con lo que acabamos de ver conviene ahora pasar al estudio detallado de cada uno de los elementos que componen el circuito de inyección estudio que vamos a descomponer en las siguientes cuatro partes:

La bomba de inyección
El regulador
Los inyectores
El circuito de alimentación

Con la descripción de todos estos elementos tendremos un conocimiento muy preciso de lo que es el circuito de inyección de un motor Diesel, precisamente en aquello que, desde el punto de vista mecánico, más lo diferencia del motor de gasolina. Vayamos pues, en este y sucesivos capítulos, al estudio pormenorizado de cada uno de estos elementos.

La bomba de inyección

El personaje central de todo el circuito de inyección es, sin duda, la bomba de inyección. Podríamos definirla como el mecanismo capaz de determinar la cantidad de combustible que en todo momento el motor precisa de acuerdo con la voluntad del conductor y las necesidades del motor. Debe ser capaz de mandar este combustible al inyector con la presión debida, generalmente muy alta, para su buena penetración en el interior de la cámara; y debe, además, relacionar constantemente el momento en que manda el combustible con la posición de giro del cigüeñal para determinar la correcta situación del avance, tema del que hemos hablado con extensión en el capítulo anterior.

Para llevar a cabo estas funciones la bomba de inyección se ayuda de dos dispositivos anexos que son: el *regulador*, que determina la cantidad de combustible mandada, y el *corrector de avance* que determina el punto de la inyección. De ellos nos ocuparemos también en este capítulo. Pero antes de llegar a ello vamos a ver, de una forma esquematizada, cómo se produce el funcionamiento de una bomba y para ello vamos a valernos de un tipo de bomba de inyección de las llamadas en línea.

Veamos la figura 4. Aquí tenemos la representación de cómo puede funcionar una bomba de inyección para un solo cilindro habiéndose colocado en la parte derecha de la figura un esquema de inyector para mejorar la comprensión del conjunto. En primer lugar tenemos representado en la parte baja un árbol de levas (1) del que puede destacarse una leva que en su giro se va a comportar del mismo modo a como lo hace el eje de levas del motor con las válvulas, es decir, va a producir un movimiento de desplazamiento del pistón (5) a través del rodillo (2) sujeto a su vez al empujador (3) que se halla obli-

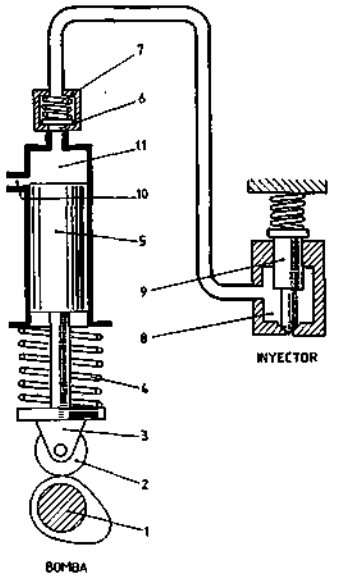


Figura 4. Esquema del funcionamiento de una bomba de inyección en línea. 1, leva. 2, rodillo. 3, empujador. 4, muelle. 5, émbolo o pistón. 6, válvula de descarga. 7, muelle antagonista de la válvula. 8, tobera. 9, aguja del inyector. 10, orificio de entrada del combustible. 11, cámara de inyección.

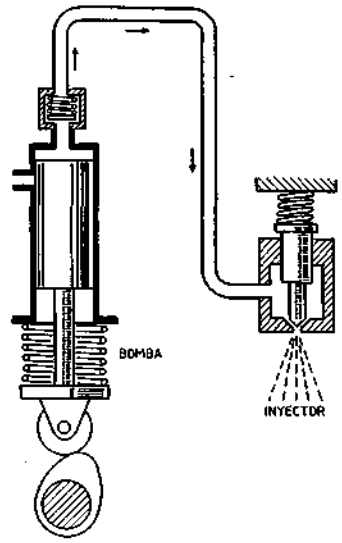


Figura 5. Cuando el lóbulo de la leva (1) acciona sobre el rodillo (2) el émbolo (5) asciende, tapa el orificio (10) y produce una inyección de combustible.

gado a seguir el perfil de la leva por la presión que ejerce el muelle (4). En estas circunstancias, y tal como muestra la figura 4, el émbolo 5 ocupa la posición más baja dentro del cilindro, y el combustible, presionado por la bomba de alimentación (no dibujada en esta figura) entra por el conducto (10) a llenar la cámara (11), sin poder tener acceso al inyector por cuanto la válvula de impulsión (6) está cerrada y el combustible no dispone de la suficiente presión para abrirla.

Cuando la leva, en virtud del giro del árbol que la soporta, se coloca de forma que el lóbulo haga ascender al empujador a través del rodillo, tal como muestra la figura 5, el émbolo (5) se levanta, cierra en su carrera el orificio de entrada del combustible (10) y en la cámara (11) crea una gran presión que

vence fácilmente la fuerza de la válvula de impulsión (6) y de su muelle (7). La elevada presión del líquido que ha atravesado la válvula de impulsión citada se transmite a lo largo de todo el conducto hasta llegar al mismo inyector. Este, como puede verse en el esquema, consta de una aguja (9) que es móvil y que presiona sobre el orificio de la tobera (8) gracias a su muelle, de modo que la presión a que llega el combustible es suficiente no sólo para levantar la aguja sino para lanzar un chorro o dardo de combustible hacia el interior de la cámara de combustión.

La duración de la inyección viene determinada por la diferencia de presión que haya en el conducto con respecto a la presión que ejerce el muelle de la aguja del inyector ya que la válvula de impulsión no permite el retorno del combustible hacia el interior del cilindro de la bomba. Por otra parte, atiende también a que no se produzca el descebamiento del circuito que significaría una caída de presión para el combustible cedido por la bomba a cada embolada si el anterior tuviera opción al retorno. Así tenemos que tan pronto como el émbolo haya dejado de dar presión al combustible, la válvula (6) se cierra impelida por su muelle (7) de modo que el circuito permanece siempre lleno de combustible.

Este es el principio de funcionamiento de una bomba en un estadio de sencillez máxima. Por supuesto, quedan todavía muchos problemas por resolver tales como la cantidad de combustible que inyecta a cada momento, la forma de accionarla desde algún mando que se halle en posición cerca del conductor, la forma de conseguir que sus inyecciones correspondan exactamente al momento que el motor precisa, son, por ejemplo, temas de la mayor importancia que trataremos con detalle muy pronto. Por ahora lo que interesa es que el mecánico vaya entrando poco a poco en el conocimiento del mecanismo de estas bombas de inyección ya que ellas son el elemento más diferenciador de toda la mecánica del motor Diesel con respecto al motor de gasolina.

Diversos tipos de bombas

En la pasada figura 3 ya vimos unos esquemas en los que se nos presentaban diversas disposiciones posibles del circuito de inyección en diversos tipos de motores Diesel. Allí ya distinguimos las dos disposiciones que se han convertido en preferentes para los motores ligeros dedicados a los autovehículos, es decir, la disposición B y C de esta figura que correspondían a las bombas en línea y a las bombas rotativas. Estos son los dos tipos usados preferentemente en los motores ligeros de automóvil y en especial las bombas rotativas, por lo que vamos a dedicar el mayor número de páginas a estos dos tipos solamente, que son los que tienen para nosotros el mayor interés. Así pues, desarrollaremos este programa por el siguiente orden:

a) Bombas en línea
b) Bombas rotativas

Cabe decir previamente, para orientación del lector, que las bombas en línea de las que vamos a ocuparnos en primer lugar tienen mucha menos aplicación al motor de automóvil que las bombas rotativas. Si bien las primeras son todavía indispensables en los motores medianos de camión, puede decirse que, en lo que al automóvil respecta, las bombas en línea son utilizadas por la casa MERCEDES BENZ y por algunos pocos constructores japoneses. Su uso parece que está quedando cada día más y más para los motores de autocamiones. La bomba rotativa, por el contrario, se ha prácticamente universalizado en los motores de todas las demás marcas europeas por varias de sus virtudes que la hacen más aconsejable. Son más pequeñas y por lo tanto tienen menos peso, y pueden dosificar muy bien cantidades muy pequeñas de combustible.

Las bombas en línea fueron inicialmente diseñadas por la casa alemana BOSCH (hoy todavía uno de los más acreditados fabricantes de este tipo de bombas) durante la década de los años 20 y significaron un extraordinario adelanto para los motores Diesel de la época. Las bombas rotativas corresponden a diseños mucho más modernos y puede decirse que fue durante la década de los años 60 cuanndo la casa inglesa CAV las lanzó al mercado como una alternativa muy válida para los motores Diesel ligeros. Desde entonces se han ido perfeccionando y hoy en día han alcanzado un buen índice de fiabilidad lo que les ha proporcionado el buen éxito de que gozan en la actualidad.

Después de esta introducción general pasemos a ver cómo están constituidos ambos tipos de bombas estudiando en primer lugar a las bombas en línea.

a) Bombas en línea

Los esquemas de las figuras 4 y 5 que nos han servido para ver una forma simplificada de cómo podría ser una bomba de inyección puede decirse que son a su vez la base del funcionamiento de una bomba de inyección en línea. En efecto, si cada cilindro como el descrito, provisto de su correspondiente inyector, lo colocamos unido a tantos cilindros iguales como cámaras de combustión se tengan que alimentar ya tendremos la base de una bomba en línea. Siguiendo este criterio ya se puede hacer algo semejante a lo que se ve en la figura 6 en donde vemos, por transparencia, la disposición interior de una bomba de inyección de este tipo preparada para alimentar un motor de seis cilindros. Vemos como en la parte inferior se halla colocado el eje de levas (1) que actúa sobre un empujador de rodillo (2) para hacer desplazar el émbolo (3) a través de su cilindro según la posición de la leva. En 4 vemos la válvula de impulsión a partir de la cual el combustible saldrá hacia el inyector, no presente en esta figura. También vemos aquí, en 5, los muelles que mantienen el empujador en contacto con la leva correspondiente tal como se dijo en el esquema simplificado a que hacemos referencia.

En esta figura 6 que nos ocupa se encuentran además nuevos elementos que son muy importantes para el funcionamiento de la bomba. Así tenemos en 6 una varilla de regulación provista de una cremallera que es accionada a

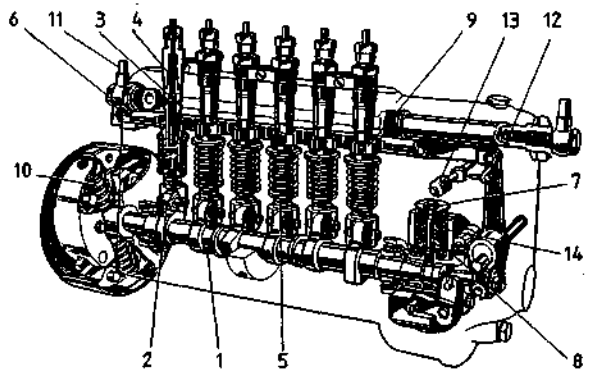


Figura 6. Vista interior de una bomba de inyección en línea para motor de seis cilindros. 1, eje de levas. 2, empujador de rodillo. 3, émbolo. 4, válvula de impulsión. 5, muelle de presión del empujador. 6, varilla de regulación. 7, palanca de accionamiento de la varilla de regulación por cremallera. 8, regulador. 9, camisa de regulación. 10, variador de avance. 11, entrada del combustible. 12, válvula de descarga del combustible. 13, tope de sobrecarga. 14, masas centrífugas del regulador.

través de la palanca (7) que se halla movida por todo el mecanismo del regulador (8), cuyo funcionamiento vamos a estudiar también muy pronto. Al desplazarse la varilla (6) accionada por esta palanca del regulador produce un desplazamiento de la llamada camisa de regulación (9) que modifica la posición de la camisa con respecto al émbolo y gracias a ello la cantidad de combustible que es inyectado por el émbolo hacia el conducto que lleva el gasóleo al inyector puede ser variable de acuerdo con las condiciones de giro.

En la parte opuesta de la figura se encuentra otro fundamental mecanismo de estas bombas, el dispositivo variador de avance (10) que, de la forma que ya veremos en su momento, modifica el accionamiento del eje de levas de modo que éste actúa con mayor o menor avance en su accionamiento de los empujadores de acuerdo con la mayor o menor velocidad a que está girando el motor, algo en el fondo parecido, con las debidas distancias, a la labor que ejerce el avance centrífugo de encendido en los motores de explosión. También estudiaremos este mecanismo con la debida atención más adelante.

Por último tenemos señalado en 11 la entrada de combustible procedente del correspondiente filtro y de la bomba de alimentación (que muchas veces suele estar adosada a la misma bomba de inyección). Tal como se aprecia en esta misma figura que nos interesa ahora, el combustible se puede desplazar

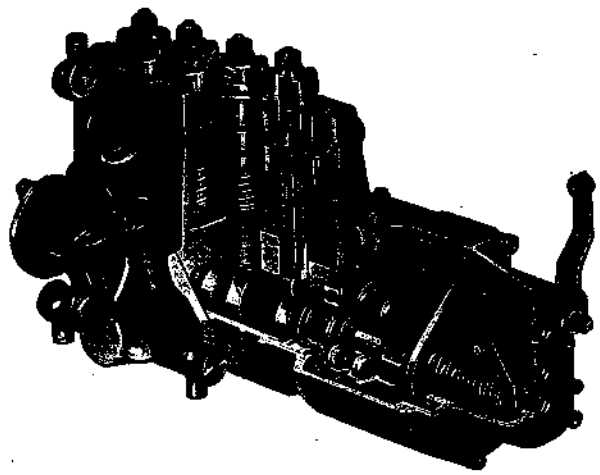


Figura 7. Vista seccionada de una bomba de inyección en línea de la marca SIGMA.

a lo largo de toda la canal que lo lleva hasta la punta opuesta (12) poniéndose en contacto, a través de este orificio y de una válvula de descarga, con el conducto de rebose del circuito. Así pues, cuando adquiere cierta presión importante por un exceso de combustible en el conducto, la válvula se abre y deja pasar el gasóleo de nuevo hacia el depósito. De este modo se mantiene una presión de alimentación constante en todo el conducto del que se nutren los émbolos de cada uno de los elementos de la bomba.

La bomba descrita en la figura 6 corresponde a un diseño muy típico de la casa alemana BOSCH. En la figura 7 se muestra una vista seccionada de una bomba de la marca SIGMA en la que se aprecia en la realidad cómo están dispuestos los elementos que se han descrito por medio del dibujo de la figura 6. Allí puede verse el contenido interior de cada una de las pequeñas bombas individuales que vamos a pasar a ver con mayor detalle inmediatamente.

Descripción de una bomba de inyección en línea

De acuerdo con lo que hemos visto hasta ahora podemos darnos cuenta de que para un conocimiento más a fondo de las bombas de inyección en línea es conveniente que descompongamos cada uno de sus mecanismos fun-

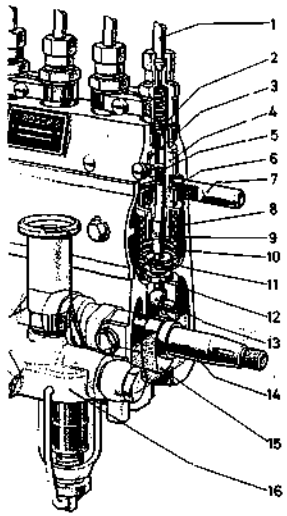


Figura 8. Vista de uno de los elementos de que consta una bomba de inyección en línea BOSCH. 1, tubería de impulsión. 2, válvula de impulsión. 3, cámara de aspiración. 4, cilindro. 5, émbolo. 6, corona dentada. 7, varillá de regulación con cremallera. 8, camisa de regulación. 9, talón del émbolo. 10, muelle del émbolo. 11, platillo del muelle. 12, tornillo de ajuste con tuerca. 13, empujador de rodillo. 14, árbol de levas. 15, leva. 16, bomba de alimentación.

damentales con el fin de estudiarlos independientemente. De acuerdo con lo visto en la explicación anterior nos damos cuenta de que una bomba de inyección de este tipo consta por lo menos de los tres mecanismos siguientes:

1. El elemento bomba.
2. El regulador.
3. El variador de avance.

Vamos a ver con detalle cada una de estas partes por separado.

1. El elemento bomba

El elemento bomba está formado por cada uno de los cilindros inyectores que prepararán la cantidad de combustible necesaria para proceder a alimentar a los inyectores. Constituyen pues la parte principal de la bomba ya que es la que debe conseguir la presión necesaria en base del desplazamiento de su pequeño émbolo dentro del cilindro correspondiente. En la figura 8 tenemos uno de estos elementos bomba en el extremo de una de estas bombas seccionada y vamos a pasar a estudiar independientemente cada uno de sus componentes de acuerdo con su función dentro del conjunto de este mecanismo.

Podemos decir que el elemento bomba está formado por las siguientes partes fundamentales:

Mecanismo de impulsión
Regulación de caudal
Válvula de impulsión
Eje de levas

Mecanismo de impulsión y regulación de caudal

El mecanismo de impulsión y el de regulación de caudal actúan combinados para conseguir la dosificación de la mezcla. En la figura 9 tenemos

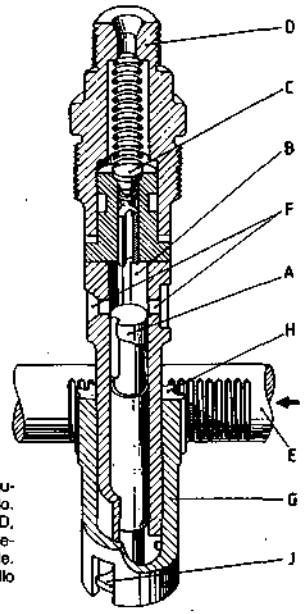


Figura 9. Forma de producirse la impulsión y la regulación de caudal en una bomba en línea. A, émbolo. B, camisa. C, válvula de impulsión o de descarga. D, empalme para el tubo de impulsión. E, cremallera reguladora. F, lumbreras de admisión de combustible. G, manguito dentado. H, corona dentada. J, martillo del émbolo.

ahora una vista seccionada bastante clara que va a servirnos para hacer la explicación del modo de comportarse de este mecanismo de impulsión, pero que también lo utilizaremos para la explicación de la regulación del caudal.

Por el momento tenemos un émbolo (A) que se puede mover dentro de un cilindro (B) en virtud del mecanismo de la leva que ya conocemos y que no está dibujado en esta figura, así como tampoco los muelles. La entrada de combustible se produce por el orificio F de la izquierda y por el F de la derecha la salida del mismo de vuelta al depósito por el conducto de rebose. Ya sabemos que en la posición que el émbolo se halla en esta figura, ocupando su PMI, la cámara B se llenaría de combustible, y al subir el émbolo y tapar los orificios o lumbreras (F) obligaría al líquido a vencer la presión de la válvula de impulsión (C) de forma que pasara al tubo de impulsión (D) que lo transportaría al inyector.

Si esto funcionara solamente de esta manera resultaría que la cantidad de combustible mandado al inyector sería siempre exactamente la misma, de modo que no se podría regular la marcha del motor ni en marcha lenta ni en la de plena carga. Por ello hay que utilizar un sistema por medio del cual la cantidad de combustible inyectada pueda ser variable. De ello se encarga pues el mecanismo de regulación de caudal. Este mecanismo lo podemos ver en la parte baja de la figura. Consta de un manguito dentado (G) que puede desplazarse a derecha o izquierda movido por una varilla con cremallera (E), que se acopla a la corona dentada (H) que lleva labrada en su parte superior. El manguito dentado (G) sujeta por su parte inferior y por una entalla a un talón de la pieza del émbolo (J) de modo que éste, si bien puede desarrollar su carrera completa, puede ser desplazado por el manguito (G) si a su vez desde la cremallera (E) se modifica la posición de éste. De este modo queda claro que el émbolo puede girar sobre sí mismo según la posición de la cremallera.

Por otra parte resulta muy importante observar que en la cabeza del émbolo (A) existen unos fresados que forman como una canal que puede llenarse de combustible mientras el émbolo inyecta el mismo, y lo ingenioso del mecanismo hemos de encontrarlo en que, según la posición de giro del émbolo (dado precisamente desde la cremallera a través del mecanismo que hemos visto antes) puede determinarse la cantidad de combustible inyectado porque una parte de este canal puede coincidir con el orificio de rebose y dar origen a un escape del gasóleo con lo que se disminuye la cantidad inyectada. Será conveniente ver este funcionamiento con la ayuda de la figura 10 en la que podemos mostrar diferentes posiciones del émbolo al ser accionado por la cremallera, las cuales determinan diferentes estados de caudal inyectado. Veamos con atención cada una de las fases de esta figura. En *a* tenemos el momento del llenado de la cámara de la parte alta de la camisa o del cilindro. Dada la presión de alimentación del combustible, al hallarse el émbolo en PMI, el combustible penetra sin dificultad a llenar esta cámara. En cuanto al émbolo inicia su carrera ascendente pasa a tapar la lumbrera de entrada del combustible (véase ahora la posición *b*) y comienza a inyectar combustible a la presión para la que ha sido fabricado. Aunque el combustible baje a través de la canal fresada en el mismo cuerpo del émbolo no hay pérdida de presión ya que la

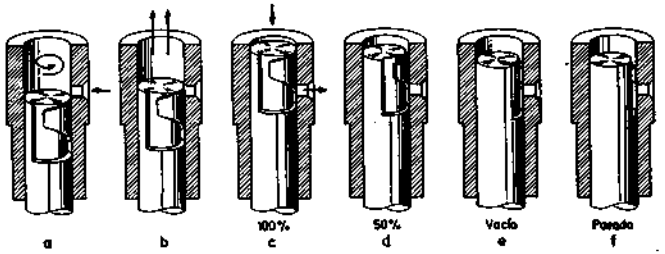


Figura 10. Explicación del comienzo y fin de la inyección y regulación de cantidad o dosado con émbolo autorregulable. a) llenado de la cámara por estar la lumbrera abierta. b) comienzo de la inyección. c) fin de la inyección (lumbrera abierta). d) posición de media carga (mitad de carrera útil). e) marcha en vacío (muy poca carrera útil). f) posición de parada por cortocircuito constante.

lumbrera de entrada del combustible permanece tapada por una zona no fresada del cuerpo del émbolo. De hecho, solamente cuando el émbolo está a punto de llegar a su posición máxima de PMS se produce el encuentro de la lumbrera con la canal (véase el dibujo *c*) de modo que en este proceso puede decirse que la bomba ha inyectado la máxima cantidad de combustible posible, es decir, el 100 %, lo que correspondería a plena carga.

Para reducir la cantidad de gasóleo inyectada basta que la posición del émbolo sea modificada por medio de la acción de la cremallera. Así tenemos lo que ocurre en *d* cuando el émbolo es obligado a aproximar su ranura al orificio o lumbrera. En este caso, a mitad de su carrera aproximadamente, se encuentra con que buena parte del combustible que llenaba su cámara puede escapar a través de la rampa o canal hacia el orificio de entrada del combustible con lo que ahora solamente se le puede dar al motor el 50 % del combustible posible. Esta situación puede mantenerse todavía más reducida si el émbolo acerca aún más su canal a la lumbrera. Tal es el caso presentado en *e* de la figura, que nos está dando ya una inyección con muy poco caudal de combustible propia solamente para la marcha lenta o giro en vacío del motor, es decir lo mismo que en los motores de explosión se suele llamar también giro a ralentí. Por último, existe la posibilidad de presentar totalmente la canal frente a la lumbrera en cuyo caso la presión del combustible inyectado es nula porque escapa por la lumbrera con mayor facilidad que por la válvula de impulsión por lo que la situación es de parada (corresponde al dibujo *f*).

De lo dicho se deduce que la parte efectiva de bombeo de la carrera del émbolo solamente puede ser aquella distancia cubierta por el émbolo desde el momento en que su borde superior obtura, al subir, las lumbreras (o lumbrera, según el diseño) hasta el momento en que el borde inferior de su canal

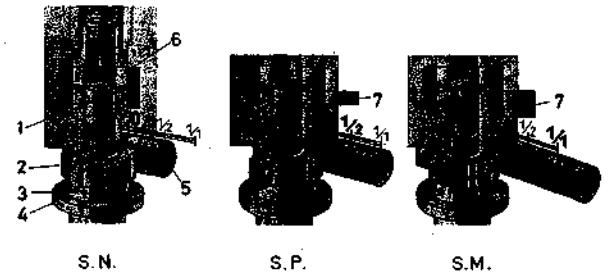


Figura 11. Tres posiciones de la cremallera que determinan tres diferentes estados de suministro. S.N., suministro nulo. S.P., suministro parcial. S.M., suministro máximo. 1, émbolo. 2, rueda dentada. 3, camisa de regulación. 4, platillo de apoyo del muelle. 5, varilla de regulación con cremallera. 6, cámara del cilindro. 7, carrera útil.

descubre la lumbrera, momento en que se reduce la presión por debajo de la necesaria para actuar en la válvula de impulsión. De este modo, manteniendo siempre una misma carrera del émbolo podemos sin embargo dosificar la cantidad de combustible inyectado.

La varilla de regulación provista de cremallera va unida al regulador del que ya explicaremos muy pronto su función y su modo de llevarla a cabo. Constituye el sistema de aceleración del motor. En la figura 11 tenemos otra nueva aportación gráfica para acabar de entender bien el comportamiento de esta cremallera ya que se muestran tres posiciones diferentes que muestran tres estados diferentes de suministro. S.N. significa suministro nulo y es el momento representado en la figura de la izquierda. La cremallera se halla en posición de reposo y el émbolo (1) queda encarado con su canal orientado frente a la lumbrera de rebose de modo que el combustible no puede ser inyectado. Cuando la cremallera adelanta, obsérvese que la rampa o canal del émbolo sufre un giro mediante el cual modifica la posición de la rampa con respecto a la lumbrera. Esto es lo que muestra la segunda figura que ocupa el centro, y que corresponde a un suministro parcial (S.P.) en el que solamente se puede inyectar el 50% del combustible admitido en la cámara del cilindro (6). En 7 se puede ver que la longitud de la carrera útil tiene un valor medio con respecto al valor de la carrera total que vemos en la figura de la derecha en la que se proporciona el suministro máximo (S.M.) por el máximo desplazamiento de la cremallera y giro del manguito dentado también máximo. Compárese como el giro del émbolo resulta aquí más exagerado que en los dibujos precedentes de esta misma figura, de modo que, por la disposición de la rampa, dispondrá de una carrera útil (7) más larga.

La forma de la rampa o canal de los émbolos de estas bombas han sido estudiados con todo cuidado para conseguir mejorar las condiciones de inyección de las bombas. Por eso no ha de sorprender encontrar émbolos provistos de muy diferentes tallados de estas rampas en sus cabezas. En la figura 12, por ejemplo, presentamos al lector tres tipos diferentes de fresados. En A tenemos el sistema más corriente y que nos ha servido para comprender bien el funcionamiento de este mecanismo; por otra parte, tenemos en C otro tallado que presenta diferentes fresados para orientación del combustible mientras en C tenemos otro complejo tallado con doble rampa helicoidal, una orientada hacia abajo y la otra hacia arriba, la primera para la variación del final del suministro y la segunda para la variación del principio del suministro. Por este sistema se logran ciertas ventajas cuando el émbolo gira accionado por la cremallera y el principio de suministro se modifica en función de la carga a que es sometido. Estos tipos de émbolos más complicados, aunque todos se basan en el mismo principio y solamente buscan ligeras mejoras en determinados momentos de la inyección, se suelen utilizar en los motores dotados de cámara de turbulencia o de antecámara cuando estos motores de inyección indirecta van provistos de bomba en línea.

La regulación del suministro de combustible a través de la cremallera viene determinada de un modo automático por el regulador, tal como se ha dicho, que determina la posición más favorable de acuerdo con la presión que el conductor ejerce sobre el pedal acelerador y la velocidad de régimen a que el motor está girando.

En el motor de gasolina se produce el paro de éste por medio de la desconexión del circuito eléctrico de encendido, de modo que la chispa no salta entre los electrodos de la bujía y por consiguiente el motor se para. En los motores Diesel el paro se ha de producir desde la misma bomba de inyección por medio del corte completo del combustible por parte de la bomba, pues no existe otro medio de interrumpir el giro del motor. Para ello hay que contar con el fresado del émbolo de la bomba que debe poseer una posición en la que sea posible no aportar ni la más mínima cantidad de combustible al motor y esta situación es la que pudimos ver en la pasada figura 10, en el dibujo *f*. Como es lógico, esta posición extrema del émbolo se consigue por medio de la varilla con cremallera y puede accionarse por medio de un cable

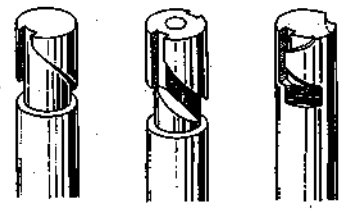


Figura 12. Ejemplos de diferentes cabezas de émbolo con diversos labrados para controlar diferentes estados de presión de la inyección.

o de un varillaje desde el puesto de conducción por medio de una palanca o dispositivo manual que desplaza la cremallera. De igual modo se actúa, por medio de otra posición del mando, en el momento del arranque, en el que resulta muchas veces necesario aportar una mayor cantidad de combustible para facilitarlo con la conveniente eficacia.

Por último, la varilla de regulación o cremallera también puede y debe regularse en el total de su recorrido para que el suministro a plena carga no sobrepase la relación conveniente de la mezcla, es decir, haya una proporción de combustible superior a la proporción de aire de modo que la relación entre ambas no sea la máxima establecida. En este caso el motor humea mucho a plena carga señal de una combustión incompleta. Para que esta situación no se produzca, las bombas de inyección de este tipo llevan un tope ajustable (lo vimos en 13 de la pasada figura 6) por medio del cual se limita la carrera de la varilla de cremallera de modo que el consumo a plena carga esté de acuerdo con la cantidad de aire que se ha introducido en la cámara para que no haya falta de oxígeno durante el proceso de la combustión.

Pasemos ahora al estudio de otro elemento de esta bomba.

Válvula de impulsión

En la pasada figura 9 vimos que la válvula de impulsión, señalada allí con la letra C, ocupa la parte superior de las bombas en línea. También recibe el nombre de válvula de descarga o de válvula de presión, o incluso, de distribución y, pese a su sencillez, tiene una importancia capital para el buen funcionamiento de todo el conjunto por las razones que vamos a explicar seguidamente.

La bomba de inyección debe obtener a cada uno de sus bombeos una elevada presión para que la pequeña cantidad de combustible que cada vez ha de inyectar tenga la suficiente fuerza para abrir la aguja del inyector y penetrar en la densa atmósfera de la cámara. Además ya hemos estudiado que esta operación debe hacerse en milisegundos de modo que hay que conseguir gran precisión y exactitud en el momento de hacer la inyección.

La elevada presión que la bomba proporciona se debe transmitir a través de los tubos de impulsión desde la bomba hasta el inyector correspondiente y estos tubos es absolutamente necesario que sean estancos y además que estén siempre permanentemente llenos de líquido, es decir, cebados, ya que la presión ha de transmitirse a través del líquido a gran velocidad. Para que las tuberías de alta presión, o tubos de impulsión, estén siempre cebadas es necesario contar con una válvula que impida el retroceso del combustible, por una parte, y que pueda mantener en el interior de los tubos siempre el mismo exacto volumen de combustible para que así, al introducirse en el interior de los conductos una determinada cantidad, sea exactamente ésta la que se haga penetrar en la cámara de combustión. Dicho de otra manera, es necesario siempre que la dosificación permanezca siempre invariable con respecto a la cantidad de combustible que en cada momento la bomba inyecta según las

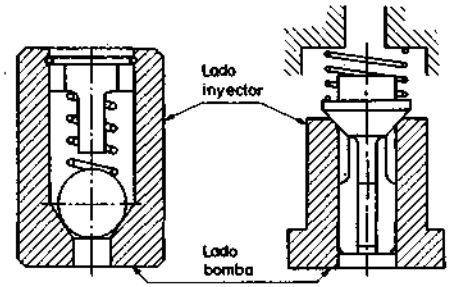


Figura 13. Válvulas de impulsión.

condiciones de marcha sin que, por caídas de presión no previstas o por goteos adicionales por mal suministro, el inyector se comporte indeciso en la producción de los chorros.

Las válvulas de impulsión utilizadas en las bombas en línea suelen ser de bola o bien de asiento, tal como puede verse en la figura 13. La de la derecha es muy utilizada por la casa BOSCH para este tipo de bombas y proporciona muy buen rendimiento para el objetivo que tiene asignado. Veamos primero el funcionamiento de la válvula de asiento que nos va a servir de base para el conocer cómo funcionan este tipo de válvulas en general.

En la figura 14 tenemos los diferentes momentos del funcionamiento de una de estas válvulas. Consta de los tres elementos fundamentales que son el portaválvula (1) dentro de cuyo cilindro entra muy ajustada la propia válvula (5). El cono de la válvula (2) y el collar de la misma (3) forman las superficies de apoyo sobre el portaválvulas que harán estanca la conducción cuando no hay presión por parte de la bomba, gracias a la acción de empuje que ejerce el muelle que es la tercera de las piezas importantes del sistema.

El funcionamiento se produce de la siguiente forma: Veamos *c* de la figura 14. Aquí se ha dibujado el momento en que el émbolo de la bomba está produciendo una elevada presión que es capaz de vencer no solamente la presión a que se halla el combustible en el interior de la tubería de impulsión sino la fuerza que el muelle está ejerciendo sobre la válvula, de tal modo que ésta se abre y deja penetrar la cantidad exacta de combustible inyectado, de acuerdo con la posición del émbolo y antes de que éste encuentre su lumbrera de descarga. El combustible penetra por la escotadura longitudinal (6) y a través de la ranura anular (4) sigue la dirección indicada por las flechas.

Cuando la presión de la bomba decrece por debajo de los valores del muelle se produce el cierre de la válvula impulsada por aquél. Este cierre se produce en dos etapas representadas por *a* y *b* en la figura. El muelle impulsa la válvula a su cierre al introducirla en el cilindro del portaválvulas. El collar

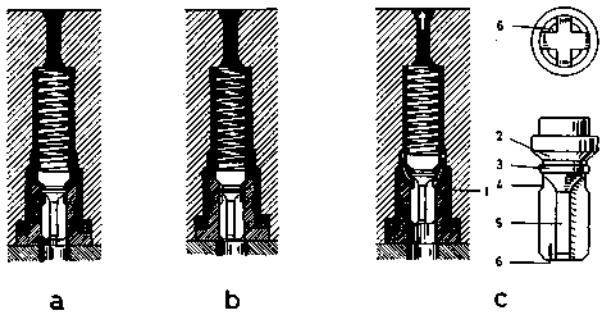


Figura 14. Válvula de impulsión de asiento en varias fases de su funcionamiento. 1, porta-válvula. 2, cono de válvula. 3, collar. 4, ranura anular. 5, cuerpo de la válvula. 6, escotadura longitudinal.

(3) es el primero en hacer contacto con el cilindro y cerrar el paso del combustible, seguido inmediatamente por el apoyo del cono de la válvula que se ajusta a su vez sobre la superficie cónica de la parte superior del portaválvulas. Esto es lo que muestra la figura *b*, en la que, tal como puede observarse, la válvula se halla ya totalmente asentada.

Este doble cierre, o cierre en dos etapas, responde a una necesidad funcional del mecanismo de transporte del combustible al inyector. Para comprenderlo mejor veamos algunas características propias de los tubos de impulsión y de las condiciones que han de reunir para que sea posible el instantáneo traspaso de presión y de combustible hacia el inyector. En primer lugar deben ser indeformables a pesar de la alta presión que tienen que soportar. Por ello deben ser de una pared relativamente muy gruesa. No se olvide que presiones de 300 bar son frecuentes en este tipo de tuberías, y que ante presiones tan elevadas el material tiende a deformarse, es decir, a hincharse, volviendo a su forma habitual cuando la presión cesa. Si en una instalación de un tubo de impulsión se permitiera que se produjera este fenómeno lo que ocurriría sería, ni más ni menos, que una vez acabada la inyección por parte de la bomba, al cesar la presión de los 300 bar en el interior del tubo, éste recobraría su posición inicial produciendo como una nueva y breve inyección, que sería innecesaria e inoportuna en el interior de la cámara. Para evitar este fenómeno los tubos de impulsión se fabrican con paredes de grosores que son superiores al valor del diámetro interior por el que circula el combustible, de modo que cuando este diámetro es de 1,60 mm por ejemplo, hay que esperar que el grueso de las paredes del tubo sea superior a esta medida.

Por otra parte los tubos deben ser de un diámetro extraordinariamente preciso, con tolerancias que no van más allá de los 0,05 mm ya que el volumen de combustible que se acumula en el interior del tubo debe ser siempre constante pues de otro modo se hace imposible una buena puesta a punto. Pequeñas variaciones en este volumen determinan variaciones en el avance y si es irregular la cantidad que permanece en el tubo, la puesta a punto correcta resulta imposible. Por esta razón el diámetro interior de los tubos guarda relación con la bomba y las condiciones de consumo del motor de modo que se convierten en piezas, aparentemente accesorias para el profano, pero verdaderas piezas calibradas de gran importancia.

Volviendo a la forma de trabajar de la válvula de impulsión nos encontramos que su cerrado en dos fases resulta necesario porque gracias a ello se consigue que en la primera fase de cerrado (*a*, en la figura 14) se produzca una caída de presión en el interior del tubo que haga posible el cierre instantáneo del inyector; mientras la segunda fase (*b*), de contacto de las superficies cónicas (y por consiguiente de cerrado total), ha de recuperar el posible hinchamiento de la tubería, mantener la misma presión a que se halla normalmente el combustible en el interior del tubo, y el mismo volumen de combustible no debe ser variado a la espera de la próxima presión de inyección con la entrada de una nueva cantidad de combustible.

Para terminar el tema de la válvula de impulsión de asiento cabe destacar la precisión del ajuste entre la válvula y el portaválvula que son fabricados o ajustados siempre emparejados y que no pueden sustituirse independientemente sin correr el riesgo de pequeñas fugas que podrían ocasionar una mala puesta a punto permanente del motor.

En lo que respecta a los tubos de impulsión hay que destacar el hecho de que todo el conjunto de tuberías de un motor debe tener siempre la misma longitud, precisamente para mantener iguales presiones para todas las válvulas de que consta la bomba. De este modo se consigue que la onda de presión que se produce y se transmite a lo largo del líquido dure el mismo tiempo para llegar a los inyectores en todos los cilindros facilitando la labor de la bomba que así ha de dar siempre exactamente la misma presión para cada uno de sus elementos. Nunca se le ocurra al mecánico reducir la longitud de estos tubos que puede ser aparentemente innecesaria para los cilindros que se encuentran más próximos a la bomba; pero recuérdese que esto tiene un objetivo perfectamente calculado.

Otro de los temas que también tienen gran importancia al respecto de los tubos de impulsión son los dispositivos que se utilizan para la conexión de éstos a la bomba de inyección y al inyector. Estas conexiones o empalmes son puntos críticos que deben ajustar perfectamente para no sufrir fugas o pérdidas de presión que podrían complicar el funcionamiento del conjunto. En la figura 15 puede verse un racor o conector de los utilizados en este tipo de conexiones debidamente seccionado para que pueda estudiarse su constitución interior. El tubo de impulsión queda un poco abocado en su punta para hacer mejor contacto en su asiento, cosa que está favorecida por el bicono (1). La tuerca de acoplamiento (4) al inyector o bomba va roscada a la salida de estos elementos mientras una contratuerca (2) se acopla a aquélla para presionar sobre un anillo de nylón amortiguador de vibraciones que asegura la

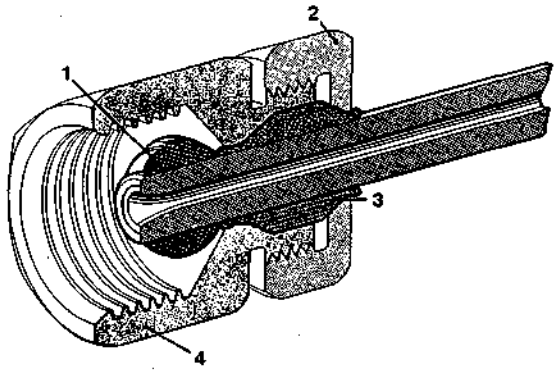


Figura 15. Racor rápido para conectar tuberías. 1, bicono de conexión y estanqueidad. 2, contratuerca. 3, anillo de nylón amortiguador de vibraciones. 4, tuerca de acoplamiento.

elasticidad a la vez que la estanqueidad del conjunto y que se halla señalado en la figura con el número 3.

Este tipo de racor, u otros posibles y similares, deben ser tratados con bastante más cuidado del que suele proporcionarse a cualquier tipo de racor corriente. Se suelen apretar dándoles un par de apriete de entre 3 a 5 mkg, y tanto durante el montaje como durante el desmontaje, hay que tratarlos con especial atención relativa a la limpieza pues están situados en zonas donde el combustible ya ha sobrepasado todos los filtrajes convenientes y la entrada de cualquier impureza durante el desmontaje o montaje irá a parar directamente sobre el mismo inyector pudiendo impedirle un cierre hermético cuando no alguna obstrucción. Cuando, más adelante, hablemos de los trabajos prácticos ya veremos la importancia que la limpieza tiene en todas las operaciones de montaje y desmontaje del equipo de inyección.

Además de la válvula de impulsión de asiento que acabamos de describir existe también la válvula de bola, tal como se mostró en la pasada figura 13. Su funcionamiento resulta muy conocido ya que es un tipo de válvula que se emplea mucho por ejemplo, en los carburadores y en otras partes del automóvil. La bola está presionada también por un muelle que la empuja sobre el conducto cónico del portaválvula sobre la que se aplica y establece un cierre hermético.

Para el buen funcionamiento de estas válvulas y para que tengan las mismas ventajas que nos ofrecen las válvulas de impulsión de asiento, se suelen disponer en un montaje en serie de dos válvulas, del modo que se aprecia en

la figura 16, en un ejemplo utilizado por las bombas en línea de la casa SIGMA. La primera válvula (1) hace las veces que el collar de la válvula que vimos en la figura 14, mientras la válvula de bola superior (2) hace las veces del cono de la citada figura. Su función es la misma: mientras la primera bola cierra el suministro al decaer la presión proporcionada por la bomba de inyección y produce una caída de presión entre el espacio que queda entre las dos válvulas, la segunda bola se cierra posteriormente dando tiempo a que el combustible de la tubería se expansione. Volviendo a la figura 16 podemos ver, señalado en 3, el racor de sujeción que debe estar provisto de una junta de alta presión (4) para su perfecta estanqueidad y evitar así todo tipo de fugas.

Eje de levas

En las bombas en línea el eje de levas ocupa siempre la posición inferior, tal como tuvimos ocasión de ver en las figuras 6 y 7 pasadas. Estos ejes van provistos de tantas excéntricas como bombas unitarias posea el conjunto más una excéntrica adicional que se destina a mover la bomba de alimentación de combustible la cual se encuentra muchas veces unida al cuerpo del conjunto. El eje de levas gira soportado por cojinetes a cada uno de sus extremos y su alineación tiene que ser perfecta al igual que ocurre con cualquier eje de levas, pero aún más si cabe en este caso, dada la precisión que en la presión y en la cantidad de combustible hay que lograr para el buen funcionamiento de estos equipos. La forma de la leva tiene un gran papel en este cometido pudiendo elevar con mayor o menor rapidez cada una de las bombas según el

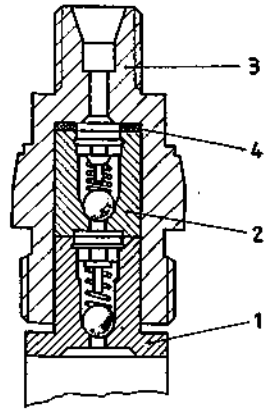


Figura 16. Válvula de impulsión doble. 1, cuerpo inferior. 2, cuerpo superior. 3, racor de suministro. 4, junta de estanqueidad de alta presión.

perfil que las levas tengan, de modo que ello afecta a la cantidad de combustible inyectada de acuerdo con la cantidad de grados de giro del cigüeñal.

A cada uno de los extremos del eje de levas se encuentran el regulador y el dispositivo variador de avance, conjuntos mecánicos que estudiaremos aparte. Ahora podemos ya dar por terminado este apartado relativo a las bombas en línea y vamos a pasar al estudio de la segunda parte en que las hemos dividido, es decir, al estudio del regulador.

2. El regulador

El regulador es un elemento indispensable para el buen funcionamiento de la inyección una vez ha sido la bomba aplicada a un motor. Por medio de él se puede hacer que un motor gire estable, es decir, que no se embale por sí mismo ni tampoco vaya perdiendo revoluciones cuando esto no es deseable. Veamos cómo se produce su funcionamiento.

Necesidad del regulador

Ya conocemos perfectamente que un motor de gasolina tiene aplicada al cuerpo del carburador una válvula mariposa que está en relación con el pedal del acelerador que acciona el conductor. A medida que éste aprieta el pedal acelerador va abriendo la válvula mariposa de modo que aumenta la cantidad de mezcla que va entrando al interior del cilindro, y al ser mayor la mezcla entrada, la combustión es más potente y el motor aumenta su fuerza. Por el contrario, si al llegar durante la conducción a una bajada no queremos que el automóvil aumente su velocidad (cosa que se producirá por el menor esfuerzo que el vehículo precisa para circular) basta con que el conductor vaya cerrando la válvula mariposa para que la explosión sea más débil en consonancia con el esfuerzo que ahora se necesita durante la bajada. Todo esto es bien sabido para quien conduce un motor de explosión de un automóvil.

Después de la explicación del funcionamiento de una bomba de inyección podría parecer que una situación semejante se podría producir si conectamos la varilla de regulación de cremallera de la bomba de inyección al pedal acelerador, de modo que el conductor del vehículo pudiera ir encarando los émbolos de la bomba con respecto a su rampa y a la lumbrera de descarga según la posición del pedal acelerador. Al igual que ocurre en los motores de gasolina, se podría de esta manera determinar en cada momento la cantidad de combustible mandado al interior de la cámara y con ello la combustión más o menos enérgica que se requiere según las exigencias de velocidad que el conductor juzgue convenientes.

En la práctica la verdad es muy otra. La sensibilidad de la bomba de inyección con respecto al giro de su émbolo es tan extraordinariamente fina que va mucho más allá de lo que se pueda imaginar quien está acostumbrado a trabajar con los carburadores. Movimientos increíblemente pequeños del pedal son suficientes para variar de una manera muy apreciable la cantidad de

gasóleo mandado a la cámara de combustión, por lo que sería imposible utilizar este sistema en las bombas de inyección por la imprecisión lograda en todos los casos para la varilla de cremallera. Por esta razón resulta indispensable contar con la colaboración de un mecanismo intermedio que sea el encargado de actuar, con la debida sensibilidad que la cremallera requiere, aun cuando reciba órdenes del pedal del conductor y éste, por medio del eje de levas de la bomba, en contacto con la velocidad de giro del motor. En efecto: el conductor podría decirse que selecciona, con la posición determinada que da al pedal acelerador, la velocidad que considera conveniente; el pedal, por medio de su varillaje, actúa sobre el regulador y es éste el que actúa con toda sensibilidad sobre la varilla cremallera determinando la posición fija de giro del émbolo que determina la cantidad de combustible que resulta conveniente inyectar de acuerdo con el requerimiento. El regulador, además, se encarga, dentro de ciertos límites, de conservar la velocidad seleccionada ya que puede aumentar o disminuir la posición de la varilla cremallera de una manera automática para que se mantenga la velocidad seleccionada evitando que el motor se acelere cuando su esfuerzo de tracción disminuye o se hunda cuando el esfuerzo de tracción aumenta.

Pero aquí no acaban todas las funciones que el regulador realiza. También es el encargado de mantener una velocidad de marcha lenta estable y, por último, puede ser el encargado de evitar que el motor pueda pasarse de vueltas ya que limita la velocidad máxima. Desde un punto de vista funcional, el regulador también puede ser el encargado de suministrar una posición determinada a la cremallera que proporcione un caudal adicional de combustible para facilitar el arranque del motor, y en algunos casos interviene también para facilitar la posición de parada, fuere cual fuere la posición del pedal acelerador, si la palanca de paro es accionada.

Existen tres tipos fundamentales de reguladores que vamos a mencionar de acuerdo con la mayor frecuencia de su uso:

a) Reguladores mecánicos centrífugos.
b) Reguladores neumáticos.
c) Reguladores hidráulicos.

Vamos a estudiar cada uno de ellos por separado. Pero antes podemos ver en la figura 17 el aspecto de una bomba de inyección de la marca inglesa SIMMS que se halla seccionada para mostrar sus elementos interiores destacando los elementos que son propios del regulador en la parte de la izquierda. Aquí se trata de un regulador mecánico centrífugo cuyo funcionamiento vamos a describir acto seguido.

a) Reguladores mecánicos centrífugos

El regulador mecánico centrífugo es uno de los más sencillos procedimientos de regulación de una bomba de inyección; y con ello resulta un pro-

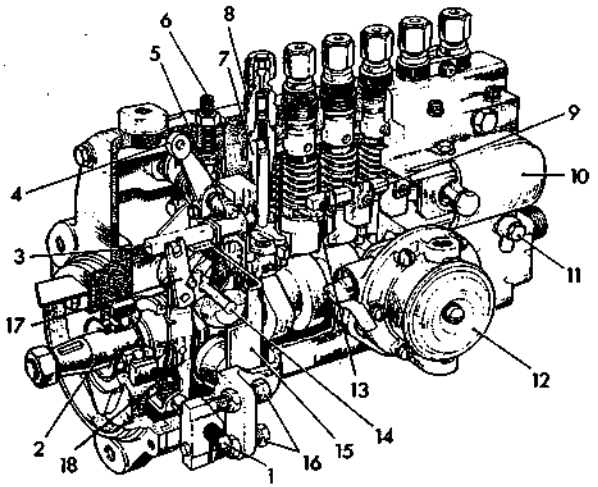


Figura 17. Bomba de inyección en línea, de la marca SIMMS provista de regulador mecánico centrífugo. 1, eje de la palanca de aceleración. 2, eje de levas. 3, barra de regulación. 4, palanca de paro o stop. 5, mando de sobrecarga. 6, tope de paro. 7, elemento de bomba. 8, manguito de fijación. 9, cursor. 10, tapa de inspección. 11, retorno de fugas. 12, bomba de alimentación de membrana. 13, tetón de la patilla del émbolo. 14, contrapeso del regulador. 15, placa trasera. 16, tornillos del tope máximo y de ralentí. 17, palanca de regulación. 18, palanca de mando.

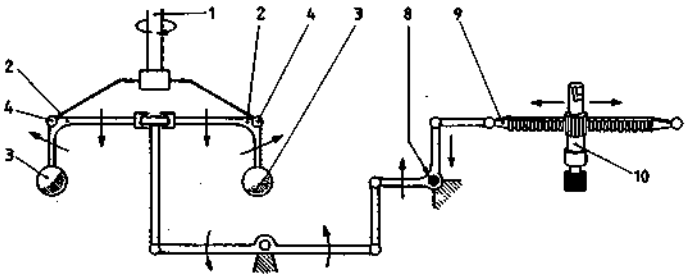


Figura 18. Esquema del funcionamiento de un regulador mecánico centrífugo. Posición de pequeña velocidad.

cedimiento fiable, económico y de buen rendimiento. De ahí que su uso se halle muy extendido en todo tipo de bombas pero en especial en las bombas en línea, ya que las bombas rotativas, que estudiaremos más adelante, suelen equiparse con preferencia con reguladores hidráulicos.

El principio de funcionamiento de los reguladores mecánicos está especialmente basado en aprovechar las condiciones que presenta la fuerza centrífuga. Como que ésta es proporcional a la velocidad de giro, se pueden obtener también desplazamientos de unas palancas que sean proporcionales a la velocidad a que gira un eje, del modo que vamos a ver por medio de la figura 18. Aquí tenemos en 1 un eje que se halla conectado, por ejemplo, al eje de levas de la bomba de inyección y que por lo tanto está girando al régimen mismo de éste. A su vez, este eje hace girar el conjunto centrífugo (2) compuesto por dos escuadras en cuyas puntas se encuentran emplazadas dos masas centrífugas (3) que pueden bascular sobre el punto (4). Cuando el eje comienza a moverse, a medida que aumenta su velocidad, las masas (3) tienden a desplazarse en el sentido de las flechas, y lo hacen tanto más cuanto más alta es la velocidad de giro. Cuando las escuadras son movidas, en virtud de la separación de las masas, ocurre lo mismo que se ve en la figura 19, es decir, empujan a la biela (5) con lo que la palanca (6) que puede bascular sobre el punto fijo (7) desciende por uno de sus brazos mientras asciende por el otro, del modo que se aprecia en la citada figura. El juego de palancas que se ha dibujado en la figura se comporta del modo que puede apreciarse comparando la figura 18 con la 19: así, a través del punto fijo (8) puede tirar de la varilla cremallera de la bomba (9) modificando la posición de cada uno de los elementos de la bomba de inyección, representados aquí solamente por el cilindro (10).

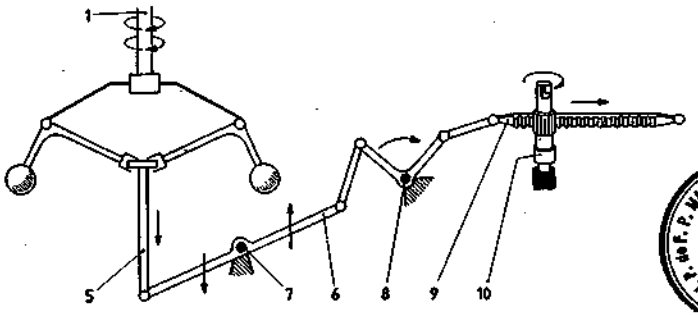


Figura 19. Esquema del funcionamiento del regulador de la figura anterior en una posición de gran velocidad.

Por este procedimiento, si de lo que se trata es de mantener estable el giro del motor que no sea afectado por las variaciones de régimen, es decir, si lo que se pretende es conseguir que cuando el motor se embala la bomba le ceda menor cantidad de combustible y mayor si el motor va perdiendo vueltas, un regulador como el de este sencillo esquema podría actuar del siguiente modo: Cuando el eje (1), representante de la velocidad de giro que posee el motor, se mantiene en una posición estable, también lo hacen las masas centrífugas (3), de modo que por la acción del regulador no se modifica la posición de la cremallera (9). Cuando el motor se embala, el eje (1) comienza a girar a mayor velocidad y las masas se abren ligeramente de acuerdo con la mayor velocidad que reciben y a partir de este momento comienzan a actuar todas las palancas moviendo ligeramente también la cremallera y disminuyendo el suministro del caudal del combustible. En este momento, el motor, al recibir menor cantidad de gasóleo reduce su giro, situación que se transmite de inmediato al eje (1) que, al aminorar su marcha, hace que las masas (3) se cierren ligeramente con lo que todo el juego de palancas actúa de forma que la cremallera (9) modifique la posición del émbolo (10) de la bomba para que éste ceda una mayor cantidad de combustible.

La permanente corrección de la cantidad de combustible suministrada en virtud del constante movimiento de corrección del juego de palancas, que se hallan regidas por el conjunto de las masas centrífugas (3), determina la posibilidad de conseguir mantener una velocidad completamente estable para el motor, todo ello realizado con una gran sensibilidad en el ajuste. Como puede verse, se trata de compensar con una variación muy precisa en el suministro de combustible las variaciones de carga con las que puede encontrarse el motor durante su funcionamiento, de modo que permanezca estable en su giro.

En la práctica, el juego de las masas centrífugas con su correspondiente varillaje de palancas, puede adquirir posiciones muy diferentes a las dibujadas en los esquemas de las pasadas figuras 18 y 19. Siguiendo también de una manera esquemática la forma cómo se hallan distribuidas estas palancas tenemos, en la figura 20, una disposición que se aviene bastante a la forma de estar dispuesto un regulador mecánico centrífugo en un equipo de la casa BOSCH. Aquí tenemos, en 1, el eje de levas de la bomba que mueve, al girar, las masas centrífugas (2) de forma que hace que éstas puedan desplazarse a través de su eje, en cuyos extremos (14) unos muelles regulan y amortiguan el desplazamiento. Las palancas angulares (3) atraen o empujan la pieza deslizante (4) provista de un perno guía (5). Este movimiento es transmitido a través de la palanca de regulación (7) a la varilla cremallera de la bomba (6) desde donde ejerce la función de modificación del caudal que hemos visto en los anteriores esquemas.

La intervención del conductor se establece a partir del pedal acelerador (8) que se encuentra en el puesto de conducción del vehículo, cuyo desplazamiento, a través de las palancas intermedias 11 y 12, va a parar también a la palanca de regulación (7). En este punto se encuentra la base de la intervención del doble sistema ya que por medio de la corredera (9), que representa un punto de articulación variable, la orden dada por el pedal del acelerador no

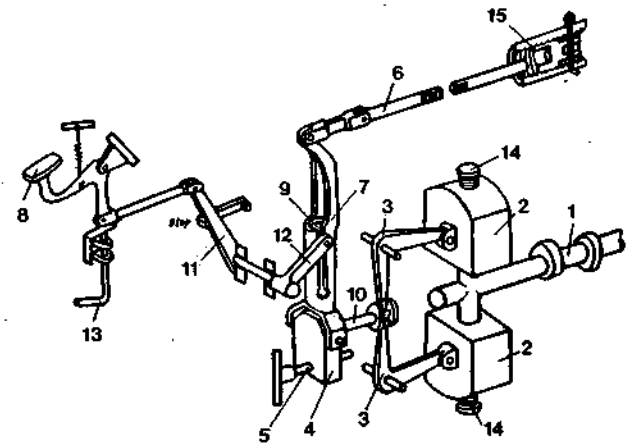


Figura 20. Esquema de un regulador mecánico centrífugo de la casa BOSCH, modelo RQ. 1, eje de levas de accionamiento. 2, masas centrífugas. 3, palancas angulares. 4, pieza deslizante. 5, guía. 6, varilla de cremallera de la bomba para el dosado. 7, palanca de regulación. 8, pedal acelerador. 9, punto de articulación de posición variable. 10, enlace manguito y regulador. 11 y 12, palancas intermediarias. 13, tope de marcha en vacío. 14, muelles reguladores. 15, tope de limitación de dosado máximo.

se transmite directamente a la cremallera de dosado (6) sino por un estado de equilibrio proporcionado por el estado en que se encuentra la velocidad de giro del regulador. Así la palanca 12 puede deslizarse a lo largo de la corredera (9) pero su accionamiento de la cremallera de dosado (6) depende también de la posición adoptada por el manguito (10) directamente accionado por las palancas angulares (3) de las masas centrífugas.

Por último, veamos en esta figura cómo el desplazamiento de la palanca del acelerador está regulada por un tope (13), llamado de *marcha en vacío*, cuya posición determina el caudal mínimo de combustible necesario para mantener el motor con su giro a ralentí. Por otra parte también se encuentra en la palanca (11) un tope («stop») para el paro del motor. Así pues, en la figura 20 que nos ocupa, la situación representada por la posición de las palancas es la de paro del motor o de reposo.

Para poner el motor en marcha se debe pisar el acelerador a fondo. Como que el motor todavía no está girando, el regulador no actúa y esto da lugar a una posición similar a lo que se representa en la figura 21. El juego de palancas intermedias del pedal hacen que la última de estas palancas se deslice

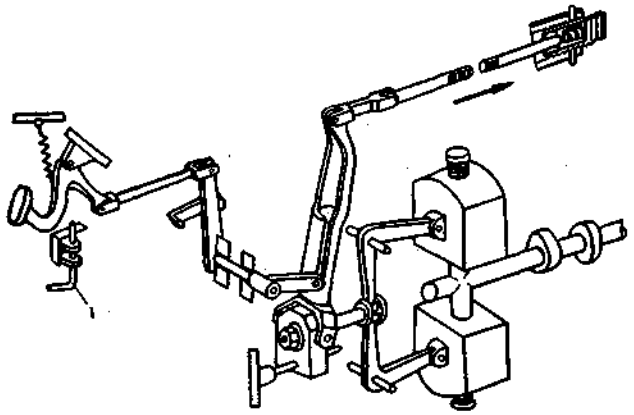


Figura 21. Posición de puesta en marcha. Mando acelerador a fondo.

por la corredera hasta su tope, y la cremallera de dosado se desplace en el sentido de la flecha de modo que se coloque en la posición de alimentación máxima. El tope de marcha en vacío (1) se conecta disparándose hacia arriba y evitando así que el pedal pueda volver a su posición de reposo. Este tope es automático en la mayoría de los casos.

En cuanto el motor comienza a girar, la bomba de inyección entra en funcionamiento (ambos movidos por el motor de arranque) e inyecta la cantidad precisa de combustible para efectuar la puesta en marcha del motor térmico. Cuando éste consigue arrancar, el conductor deja libre inmediatamente el pedal del acelerador con lo que éste vuelve a su posición de reposo arrastrando al conjunto de palancas que son solidarias de él (y, por consiguiente, la cremallera de dosado regresa a una posición próxima a la de reposo manteniendo el bombeo de una cantidad mínima de combustible suficiente para aguantar la velocidad de marcha lenta que se está produciendo). Sin embargo, para que ello haya sido posible se ha necesitado que el tope de marcha en vacío que vimos en 13 de la figura 20, se haya disparado, de modo que la palanca del acelerador ya no regrese a la posición de «stop». Esta es la situación que el lector puede ver en la figura 22: el desplazamiento del tope de marcha en vacío impide a la palanca intermediaria (2) regresar a su posición máxima de reposo con lo que se establece una determinada posición de la cremallera de dosado que debe corresponder con la posición de ralentí. Obsérvese, en esta figura 22, que las masas polares ya han comenzado a desplazarse puesto que están sometidas al giro de la marcha lenta a través de su conexión con el eje de levas de la bomba. Aquí el regulador ya comienza a modificar la posición relativa de la palanca de regulación (7 de la figura 20) modificando el caudal de combustible aportado según el giro en vacío del motor, rebajando esta cantidad muy ligeramente cuando el motor térmico se embala y aumentándola cuando el motor baja de cierto número de vueltas, tal como es la misión típica de este regulador mecánico centrífugo.

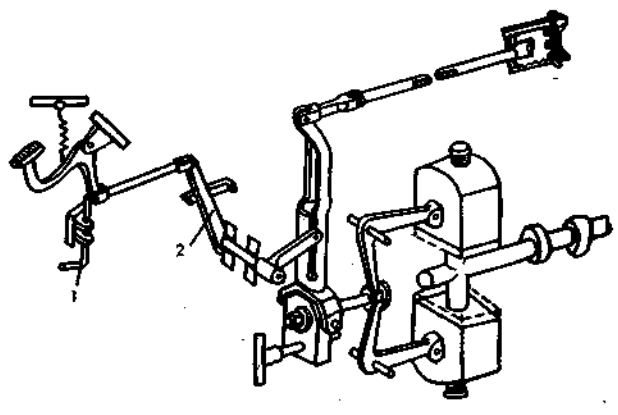


Figura 22. Posición de marcha en vacío. Ligero desplazamiento de los pesos centrífugos y tope (1) disparado impidiendo el retroceso total de 2.

Otro momento de la actuación de este tipo de regulador lo tenemos cuando se exige al motor el máximo régimen, situación que queda reflejada en la figura 23. Para llegar a este punto el conductor ha ido pisando el pedal del acelerador para conseguir que el motor vaya desarrollando cada vez más potencia. Esta aceleración ha provocado el aumento del régimen de giro del eje de levas de la bomba y con ello el desplazamiento hacia afuera de las masas centrífugas del regulador. Al principio, el regulador tiende a dificultar el aumento de las r/min; pero una vez sobrepasado el número de r/min que corresponde a la marcha en vacío, las masas centrífugas son frenadas por unos platillos que intervienen en la regulación de la máxima carga. En esta misma posición se mantienen hasta que el motor alcanza el máximo número de r/min porque los muelles reguladores, colocados en el interior de las masas centrífugas (y que describiremos a continuación) no ceden hasta que el motor tienda

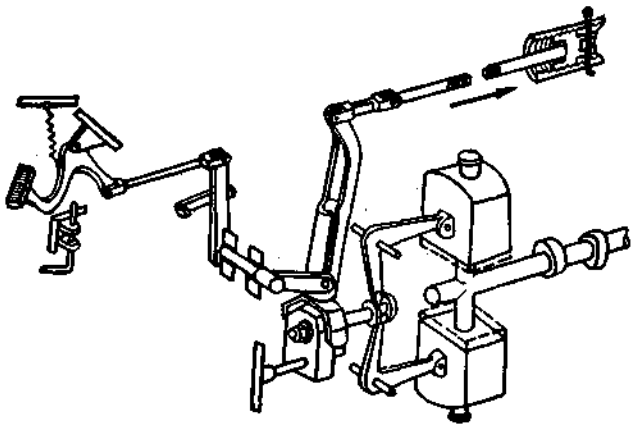


Figura 23. Posición de máximo régimen. Mando a fondo y regulador graduando el dosado.

a sobrepasar su régimen máximo de r/min, momento en el que vuelve a actuar este regulador.

Ahora conviene aclarar que este tipo de regulador mecánico, muy utilizado en las bombas de inyección en línea diseñadas para los motores de automoción, no tiene un control permanente de la posición de la cremallera de dosado sino que actúa sólo en las posiciones de marcha lenta, tal como hemos visto, y también en la posición de máximo régimen. Por ello recibe el nombre de *regulador de máxima-mínima*. Por supuesto, existen también reguladores que trabajan con un principio semejante al que estamos describiendo que ejercen una regulación constante de la posición de la varilla de cremallera de dosado. Estos reguladores reciben el nombre de reguladores de *regulación continua*, y también nos ocuparemos de ellos más adelante.

Pues bien: vemos que en el regulador de máxima-mínima éste vuelve a ponerse en acción cuando el motor tiende a sobrepasar su régimen máximo de giro, es decir, cuando el motor se embala. Esto puede producirse según el grado de aceleración aplicado por el conductor, dependiendo de la posición de la palanca de ajuste (7). Una vez iniciada la regulación del régimen máximo, la cremallera de dosado ya no depende solamente de la voluntad del conductor del vehículo, sino también del propio regulador. En la figura 23 puede apreciarse la posición del acelerador y de la palanca de ajuste, así como el desplazamiento de las masas centrífugas. Como puede apreciarse en esta figura, la posición corresponde a plena carga. En este caso el recorrido o desplazamiento de las masas centrífugas para la regulación del régimen es de 5 mm, que representa un desplazamiento de la cremallera de dosado de unos 16 mm en el sentido de la flecha, siendo suficiente para evitar una velocidad excesiva y frenarla para que no llegue más allá del límite fijado por el conductor.

Las masas centrífugas de este regulador están huecas por su parte interior para alojar dentro de ellas una serie de muelles cuyo funcionamiento es preciso conocer para acabar de entender bien el funcionamiento general de este conjunto. En la figura 24 presentamos un dibujo que corresponde a un corte practicado en una de las masas centrífugas de uno de estos reguladores. Para centrar bien la posición de este mecanismo digamos que corresponde a lo señalado con el número 2 en la figura 20 y los muelles aparecen, en parte, indicados en 14 de esta misma figura. Ahora volvamos a la figura 24 en donde se muestra una sola de estas masas pero en diferentes momentos de su funcionamiento. La posición A corresponde a la posición de reposo, en la que el motor se halla parado. Como puede verse esta masa centrífuga representada permanece en la posición tope de cerrado (o acercamiento a su eje representado por la zona rayada de la figura) gracias a la acción del muelle (1) que es el encargado de regular la marcha en vacío. En la segunda posición, en el centro (B), la masa centrífuga se ha desplazado hacia arriba del orden de unos 8 mm y queda a tope con el platillo (2) sin llegar a vencer la resistencia de los muelles interiores (3). Aquí se produce el período de regulación general de la marcha en vacío o de ralentí. Finalmente, si la velocidad de giro todavía aumenta, en virtud de la fuerza centrífuga, la masa puede llegar a desplazar el platillo (2) y controlar su desplazamiento de acuerdo con el equilibrio creado entre la fuerza centrífuga que los hace girar y la fuerza antagonista de los muelles interiores (3). Ahora se está produciendo la regulación del régimen máximo, que puede oscilar entre los 5 mm más de que consta la carrera máxima de las masas centrífugas.

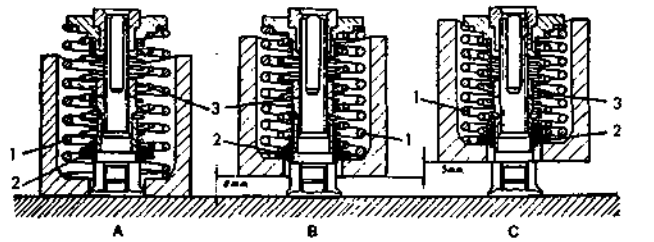


Figura 24. Vista seccionada de una de las masas centrífugas del regulador mostrando la disposición de los muelles. 1, muelle exterior para la regulación de la marcha en vacío. 2, platillo. 3, muelles interiores.

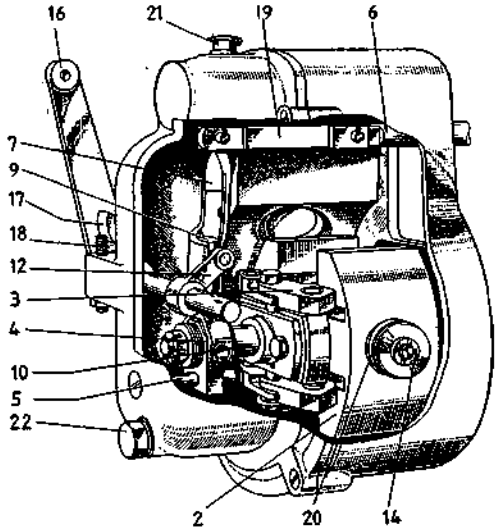


Figura 25. Vista en sección del regulador descrito en la pasada figura 20. 2, masas centrífugas. 3, palancas angulares. 4, manguito. 5, guía. 6, cremallera de dosado. 7, palanca de regulación. 9, corredera del punto de articulación. 10, vástago de unión del manguito y el regulador. 12, mando del punto de articulación. 13, ajuste de tensión de los muelles o tope de regulación. 16, palanca intermediaria de mando. 17, tope. 18, tornillo regulador del tope. 19, bieleta. 20, extremo de los muelles de las masas centrífugas. 21, engrasador. 22, tapón del vaciado del aceite.

Con lo dicho hasta ahora queda aclarado lo que es un regulador de este tipo. Para poder identificar las piezas descritas en el esquema será conveniente que veamos un dibujo de cómo son en la realidad estos mecanismos. Así tenemos en la figura 25 un corte practicado en una bomba en donde se muestra solamente el regulador. El eje de levas —oculto en la figura— mueve las masas centrífugas (2) las cuales, a través de las palancas angulares (3), actúan sobre el manguito (4) con su guía (5), todo ello por mediación del vástago (10) de unión del manguito y el regulador, tal como lo vimos en el esquema de las anteriores figuras. Podemos también distinguir en 7 la palanca de ajuste o de regulación y en 9 la corredera que se desliza por el interior de la misma por la acción de la palanca (12) solidaria del varillaje del pedal acelerador, cuyo extremo (16) corresponde a una palanca intermediaria de mando. En 17 y 18

tenemos el tope de la palanca anterior regulada por su tornillo y contratuerca correspondientes.

También puede identificarse en esta figura la presencia de la cremallera de dosado (6) accionada a través de la bieleta (19) por la palanca reguladora (7). El tope de regulación de las masas polares o centrífugas lo vemos dibujado en 14 mientras en 20 se pueden apreciar algunos hilos de sus muelles. Por último, solamente nos queda destacar la presencia del engrasador (21) para el llenado de aceite del mecanismo, y en 22 tenemos el tapón de vaciado o purga del aceite para sacarlo cuando se ha de proceder a su sustitución según las normas de mantenimiento.

Reguladores mecánicos de regulación continua

Como ya se ha dicho la descripción de este regulador básico que hemos llevado a cabo corresponde a un sistema en que la regulación se hace efectiva en los dos puntos más críticos del funcionamiento del motor, es decir, en la marcha lenta y a régimen máximo. Sin embargo, no se cubre toda la gama de posibles estados de r/min con un tipo de regulador como el descrito y por ello se ha acudido a diseñar mecanismos más complicados pero a la vez más perfectos para dar respuesta a las necesidades de una regulación continua de la bomba de inyección. Un tipo de estos reguladores es el fabricado por la casa BOSCH, modelo de la serie RSV y también el modelo SF de la casa inglesa CAV. Vamos a hacer una breve descripción del primero contando ya con el conocimiento que el lector tiene del modo de actuar de las masas centrífugas después de lo que ya se explicó para el otro tipo de regulador de máxima-mínima descrito anteriormente.

Veamos la figura 26. Aquí tenemos el esquema del funcionamiento de todas las palancas y mecanismos que determinan el funcionamiento del modelo RSV. Las masas centrífugas (1) basculan sobre pernos sujetos al buje (2), y al oscilar hacia afuera, se separan de los extremos del manguito con guía (3) a la vez que lo presionan desde el rodillo (4) basculando desde los puntos móviles de sujeción de las palancas angulares (5). Así pues, el manguito con guía (3) solamente tiene movimiento axial, es decir, se desplaza hacia adelante o hacia atrás, pues está acoplado por medio de una articulación con la palanca de guía (6) que se halla suspendida en forma oscilatoria desde la tapa del regulador por un perno soporte, impidiéndose así la posibilidad de giro. A esta misma palanca está sujeta la palanca de regulación (7) cuyo extremo inferior va fijado por un pitón (8) mientras el otro extremo está fijado a una bieleta (10) ya directamente solidaria de la cremallera de dosado (9) de la bomba. De este modo ya se aprecia que cualquier movimiento proporcionado al manguito con guía (3) repercutirá, a través de la palanca (7) sobre la bieleta (10) y, consecuentemente, sobre el movimiento de la cremallera de dosado que, como sabemos, es la encargada de determinar el caudal de combustible proporcionado por la bomba de inyección.

El resto de las palancas y muelles que vemos representados en la figura

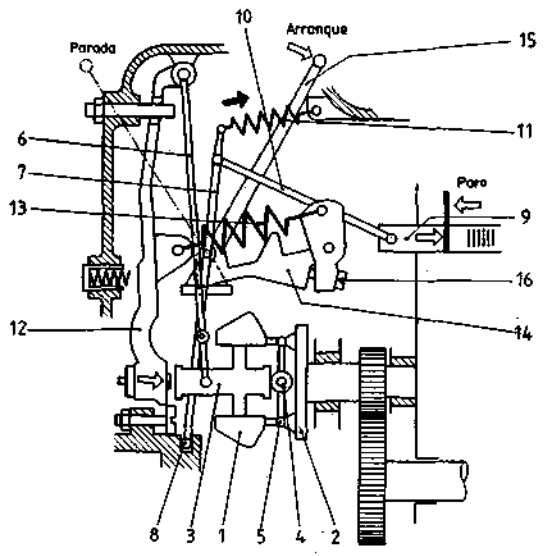


Figura 26. Esquema de funcionamiento del regulador BOSCH, modelo RSV.

sirven para controlar los movimientos descritos anteriormente. El muelle de arranque (11) está sujeto por un lado al cuerpo del regulador y por el otro a la palanca de regulación (7). Solamente actúa cuando el número de r/min del motor es inferior al correspondiente para la velocidad de giro de marcha lenta, obligando a la palanca en el sentido de la flecha.

Ahora entra en acción otra de las piezas importantes de este conjunto. Se trata de la palanca tensora (12) que se halla montada sobre el mismo soporte que el extremo de la palanca de guía (6). Al tensar el muelle regulador (13) se aprieta esta palanca contra el perno de ajuste hasta equilibrar la fuerza centrífuga con la del muelle, si el motor está en marcha. La palanca oscilante (14) está apoyada en la tapa del cuerpo del regulador y unida, formando una sola pieza, con la palanca de ajuste (15). Como puede apreciarse fácilmente en la figura, la tensión del muelle regulador se logra accionando la palanca de ajuste, que a su vez va conectada, por medio de otro juego de palancas, al pedal del acelerador. La tensión del muelle regulador (13) puede variarse ajustando el tornillo de reglaje (16).

Este es el conjunto de los elementos que forman parte de este tipo de regulador. Bueno será que pasemos a estudiar brevemente el comportamiento de cada una de sus facetas de funcionamiento por medio de algunas figuras comentadas. Para ello vamos a empezar por comentar la posición de los mecanismos en esta misma figura 26 que nos ocupa. Aquí nos encontramos en la posición durante el arranque del motor. Cuando el conductor acciona la palanca o pedal del acelerador la palanca oscilante (14) desde el lugar indicado por la flecha blanca (arranque), el conjunto se pone al tope de máximas revoluciones. El saliente de la palanca oscilante deja libre la palanca de guía (6), llevándola hasta el tope de plena carga. Con ello se facilita la máxima aportación de combustible por parte de la bomba.

Una vez puesto el motor en marcha, el regulador comienza a funcionar de una forma automática. Al retroceder la palanca de ajuste (15) hasta la posición de marcha en vacío, tal como indica ahora la figura 27 (la cual muestra el mecanismo desde la parte opuesta a la mostrada en la figura 26, pero donde se aprecian los mismos elementos) el muelle regulador se afloja y facilita el desplazamiento del perno de ajuste y el manguito de guía (3, en la figura 26) siguiendo la dirección de las flechas. Es de destacar en este estado la presencia del muelle adicional (2, de la figura 27) de marcha en vacío que tiene la particularidad de ayudar a inyectar más combustible cuando el motor está funcionando al ralentí, asegurando un funcionamiento seguro a pocas revoluciones

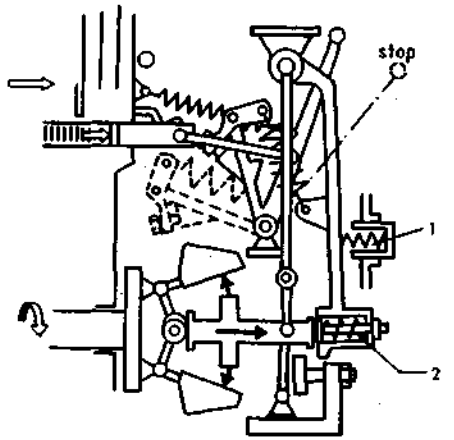


Figura 27. Posición de marcha en vacío. 1, muelle de asimilación. 2, muelle de control del ralentí.

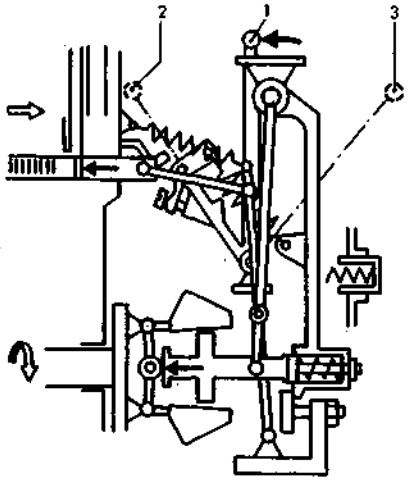


Figura 28. Posición del mecanismo del regulador a plena carga y bajo régimen. Obsérvese la posición intermedia (1) del mando entre 2 y 3.

de giro. También el muelle 1 contribuye a este proceso. Compárense las figuras 26 y 27 para apreciar la posición de las masas centrífugas y la de la cremallera de dosado.

Durante el funcionamiento normal del motor el regulador se comporta del siguiente modo: Si el motor se carga o descarga funcionando a un determinado número de r/min, de acuerdo con la posición de la palanca de ajuste, el regulador mantiene este número de revoluciones dentro de los límites comprendidos por su grado de irregularidad, de la siguiente forma: partiendo de la posición de marcha en vacío y por medio del acelerador, el conductor lleva la palanca de ajuste a la posición que queda indicada en la figura 28 y señalada con 1. Como consecuencia de ello aumenta la tensión del muelle regulador, obligando a moverse a la palanca tensora hasta que se aplica al tope de plena carga. Entonces la palanca aprieta sobre el perno de ajuste y el manguito de guía y los desplaza con dirección al cuerpo de la bomba de inyección. La palanca de guía y la de regulación transmiten el desplazamiento a la varilla de cremallera de dosado de modo que ésta es impulsada hacia la posición de plena carga.

Cuando la fuerza centrífuga de las masas aumenta y resulta mayor que la tensión del muelle regulador, oscilan hacia afuera las masas y desplazan de

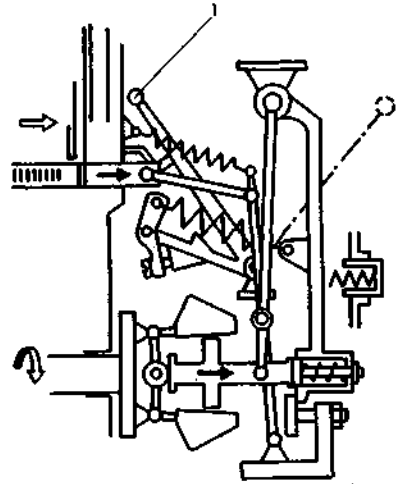


Figura 29. Posición del regulador a alto régimen. La palanca 1 está en situación de máxima carga.

nuevo el manguito de guía con el perno de ajuste, la palanca de regulación y la varilla cremallera hacia la posición de menor caudal de suministro. Oscilando entre estas dos fuerzas, el regulador se encarga de establecer una posición estable para el motor al número de r/min que se ha seleccionado por el conductor por medio del pedal acelerador. Si se lleva a palanca de ajuste a la posición de máximo número de revoluciones, como es el caso presentado en la nueva figura 29, el regulador trabaja como se ha indicado en la figura anterior, pero aquí la palanca oscilante tensa completamente el muelle regulador, tirando, por consiguiente, con más fuerza y llevando la varilla de regulación a plena carga. En la figura 28 tenemos la palanca de ajuste (1) en la posición central; su colocación en la posición 2 determina la máxima carga y en 3, la mínima. Por ello, en la figura 29 la vemos en la posición de máxima carga.

Para finalizar este tema será conveniente consultar en la figura 30 todo el mecanismo de este regulador tal como es en la realidad, comparándolo con lo que hemos visto en los esquemas. Se han señalado con números los mismos elementos de la figura 26 y esta vista seccionada permite comprender ahora la función de cada una de las partes de que consta este regulador, vistas en sus reales formas y proporcionales dimensiones.

Con esto damos por terminado el tema de los reguladores mecánicos cen-

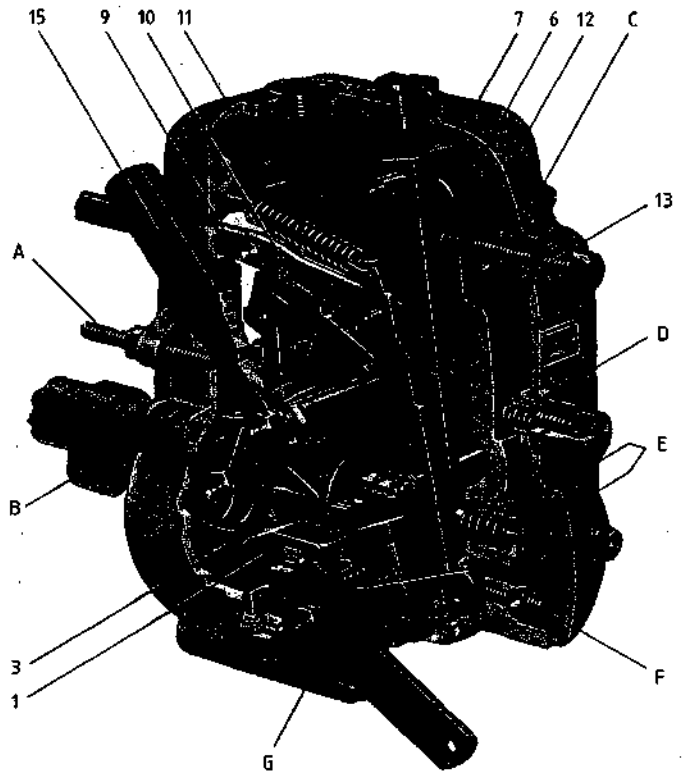


Figura 30. Vista seccionada del regulador BOSCH, modelo RSV, que hemos visto en los anteriores esquemas. A, tope de régimen máximo. B, eje de levas de la bomba. C, tope de mínimo. D, corrector de irregularidad en vacío. E, muelle asimilador. F, tope de carga. G, mando de paro. 1, masas centrífugas. 3, manguito con guía. 6, palanca de guía. 7, palanca de regulación. 9, cremallera de dosado. 10, bieleta. 11, muelle de arranque. 12, palanca tensora. 13, muelle regulador. 15, palanca de ajuste.

centrífugos de los que, sin embargo, volveremos a ocuparnos más adelante cuando tratemos de las bombas rotativas. Entonces volveremos sobre el tema pero con las variantes que su aplicación a este otro tipo de bombas comporta. No olvidemos que lo explicado hasta aquí corresponde a las bombas de inyección en línea. Acto seguido pasemos a ver otros tipos posibles de reguladores siguiendo el orden que expusimos al principio.

b) Reguladores neumáticos

La segunda de las posibilidades por medio de las cuales se puede acudir a regular una bomba de inyección la forman los *reguladores neumáticos*, llamados así porque hacen su trabajo con la ayuda del aire y una cápsula de depresión tal como veremos muy pronto. Se trata sin duda de una de las soluciones más baratas por lo fácil de su construcción y también por su más sencilla aplicación a las bombas, pero no es, desde luego, la solución más satisfactoria por el dudoso margen de regulación que es capaz de llevar a cabo. Sin embargo, se utiliza con cierta frecuencia en los motores de automoción y muy especialmente en los motores de los turismos que es el tema que más nos interesa en este momento. Pasemos pues, a describir el principio en que se basan y la forma cómo se produce su funcionamiento.

El principio de funcionamiento de este sistema podría compararse con el sistema de avance de encendido por depresión que llevan los automóviles dotados de motor de explosión. Recuérdese que en este sistema de avance de encendido hay una cápsula estanca que se halla, por mediación de un tubo, en comunicación con el colector de admisión. La entrada del aire por él determina diferentes estados de depresión en el interior de la cápsula y con ello el desplazamiento en mayor o menor cantidad de una bieleta que arrastra el sistema de avance de encendido. Podría decirse que el sistema aplicado a la bomba de inyección es prácticamente del mismo estilo. Veamos cómo podría hacerse esto con una bomba de inyección y un motor Diesel.

En la figura 31 tenemos un esquema que se ajusta mucho a la realidad de cómo son las cosas en la práctica. En primer lugar nos encontramos con una cámara (1) que está a la presión atmosférica siempre. Esta cámara se halla dividida en dos partes por medio de una membrana (2) elástica, que además de producir una separación totalmente estanca entre su cámara de depresión (4) y la cámara atmosférica (1), lleva en su parte central solidario un mecanismo de sujeción de la varilla de cremallera de dosado (3). De este modo, si la membrana se desplaza, también lo hace la cremallera. Obsérvese cómo la membrana (2) se mantiene en su posición extrema obligada a ello por el muelle regulador (5).

La caja (6), que contiene el regulador neumático, permanece totalmente estanca si no fuera porque tiene un solo orificio que la pone en contacto con un tubo (7) que la conecta a un difusor que se encuentra en el tubo de admisión (13) de modo que toda corriente de aire que pase a través de este difusor (11) producirá una depresión (o succión) a través de este tubo que robará aire

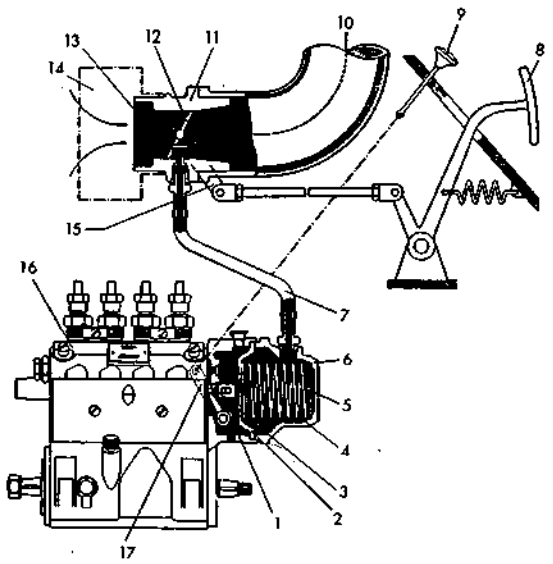


Figura 31. Vista de los elementos que componen el regulador neumático. 1, cámara atmosférica. 2, membrana elástica. 3, extremo de la cremallera de dosado. 4, cámara de depresión. 5, muelle regulador. 6, caja del regulador. 7, tubo de conexión estanco hasta el colector de admisión. 8, acelerador. 9, mando de stop. 10, zona de aspiración del motor. 11, difusor. 12, válvula de mariposa. 13, tubo de admisión. 14, filtro. 15, mando de la mariposa. Este mecanismo está representado en posición de paro en este momento.

de la cámara de depresión (4) con lo que la membrana (2) se contraerá hacia el interior de su cámara y arrastrará con ello a la cremallera de dosado (3) de una manera tan sensible como sea su capacidad de variar de posición de acuerdo con las variaciones de depresión que se produzcan en el difusor.

El sistema de mando de este conjunto puede verse en la figura que se trata de un procedimiento parecido al que utilizan los motores de explosión. El pedal acelerador (8) actúa directamente sobre una válvula de mariposa (12) la cual, al abrirse o cerrarse, deja pasar mayor o menor cantidad de aire y con ello una gran cantidad de estados o valores de depresión en el interior del tubo (10) que se transmiten a la cámara de depresión por medio del tubo de conexión (7). Podría decirse que a cada estado de abertura de la mariposa

corresponde un valor de depresión que se hace sensible en la cámara de depresión (4), y como consecuencia de ellas un gran número de posiciones diferentes de la membrana y de la varilla cremallera.

Este es el principio de funcionamiento de este sistema de regulador neumático. Para terminar la descripción de los elementos mostrados en la figura 31 vemos, en 9, el mando de paro del motor que se halla conectado a una palanca (17) que actúa independientemente de la membrana cerrando el suministro de combustible al motor. También cabe destacar la presencia del filtro de aire (14) elemento de una gran importancia en el funcionamiento de este sistema pues puede ser causante de anomalías si por el estado de suciedad dificulta el paso del aire y por culpa de ello se modifican los valores de depresión para los que el regulador está preparado. Por último, en 16 se ve la bomba de inyección de cuatro cilindros, en este caso perteneciente a la casa BOSCH.

Una vez vista la totalidad de conjunto pasemos a ver el comportamiento de este regulador con cierto detalle en cada una de sus fases de funcionamiento. Para ello comencemos por la marcha en vacío o ralentí.

En la figura 32 tenemos dibujado el estado del dispositivo durante la marcha en vacío del motor. La válvula de mariposa (1) se halla cerrada, por lo que la corriente de aire que circula es solamente la que deja pasar la propia mariposa a través de un orificio que se halla en su cuerpo (y que ya explicaremos con detalle al llegar a la figura 36 próxima) que coincide con un tubo o difusor adicional (2) que se halla previsto al efecto. Como que el aire que circula lo hace a gran velocidad, debido al movimiento de aspiración de los émbolos del motor térmico, se crea en el conducto que va a la cámara de

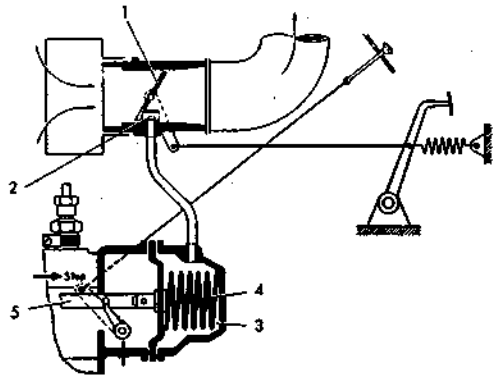


Figura 32. Estado del regulador neumático durante la marcha en vacío o ralentí.

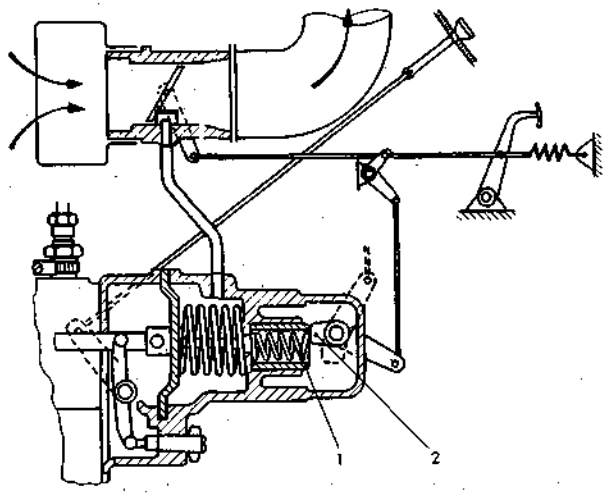


Figura 33. Regulador neumático con muelle corrector (1) y leva compensadora (2).

depresión (3) una gran depresión que hace que la membrana se contraiga venciendo la presión del muelle regulador (4) y atrayendo la varilla cremallera de dosado (5). La regulación se establece en el siguiente sentido: Si el motor tiende a embalarse consume más aire y la depresión en el difusor adicional (2) aumenta por lo que la varilla de cremallera es atraída por la membrana y el caudal del suministro de alimentación de la bomba disminuye. Si, por el contrario, el motor tiende a reducir su velocidad, su consumo de aire es menor y a consecuencia de ello el valor de la depresión desciende de modo que la membrana se distiende ligeramente y empuja a la varilla de cremallera hacia una mejor alimentación de combustible. El juego entre estas dos fuerzas es lo que determina la regulación estable de la marcha en vacío.

La misma teoría rige los demás estados de regulación posibles del motor de acuerdo siempre con el valor de la depresión reinante en el conducto de admisión. Cuanto más se abre la mariposa menor es la depresión en la cámara de la membrana y ello determina la posición de la varilla cremallera de dosado, tal como se ha visto. En cuanto al paro o stop del motor se efectúa por medio del mando (9, en la figura 31 que puede verse con más claridad en la figura 32). Cuando este mando se coloca en posición de stop, bloquea, por medio de una palanca solidaria, la posición de la varilla de cremallera de modo que no puede ser accionada por la membrana y deja a la bomba en posición

de suministro nulo de combustible. Como consecuencia de ello el motor deja de funcionar.

En la práctica los reguladores neumáticos pueden ser más complicados con el fin de conseguir valores más precisos de regulación. En la figura 33 se muestra el conjunto de la cápsula de depresión de un regulador BOSCH de este tipo, provisto de doble muelle para la más precisa regulación de la marcha en vacío. En realidad se trata de un muelle corrector (1) provisto de una leva compensadora (2) que es accionada a su vez por el juego de palancas del pedal acelerador. Este muelle adicional amortigua las variaciones demasiado amplias que se producen durante la marcha en vacío y que en los reguladores neumáticos convencionales producen sacudidas e indecisiones del motor en determinados estados de marcha lenta. Con ello se consigue un grado de regulación mucho más sereno y, por consiguiente, una marcha en vacío mucho más estable. Como puede observarse en la figura 33, cuando el pedal del acelerador se oprime y la válvula de mariposa se abre, la leva compensadora se retira de su posición sobre el muelle corrector y queda en mayor libertad el mecanismo, pasando, a partir de aquí, a ser la membrana la que rige sin tope la marcha normal. Este conjunto puede verse representado en el dibujo de la figura 34 en la que se muestra la misma disposición que este tipo de regulador adquiere en la práctica. En 3 tenemos la cápsula de depresión provista de su correspondiente muelle y membrana. Obsérvese como en el centro de ésta existe un tope que, en el desplazamiento ocasionado por la depresión, puede llegar a tocar con el tope regulador por amortiguación (4) cuya presión resulta más o menos importante según la posición de la leva (5) regida desde la palanca (6) por la posición del pedal acelerador. Si la leva se halla en la posición que indica la figura no actúa sobre el muelle y por lo tanto la presión de éste sobre el tope de amortiguación (4) es muy inferior: esto corresponde a las velocidades de marcha del motor. Cuando el pedal del acelerador está en re-

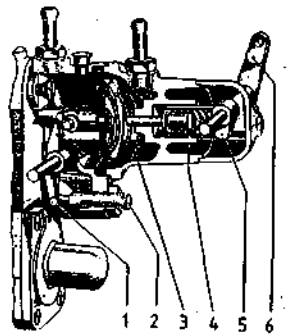


Figura 34. Vista en sección real del regulador de la figura anterior. 1 y 2, tope de carga. 3, muelle regulador. 4, muelle de ralentí adicional. 5, leva. 6, mando de ralentí.

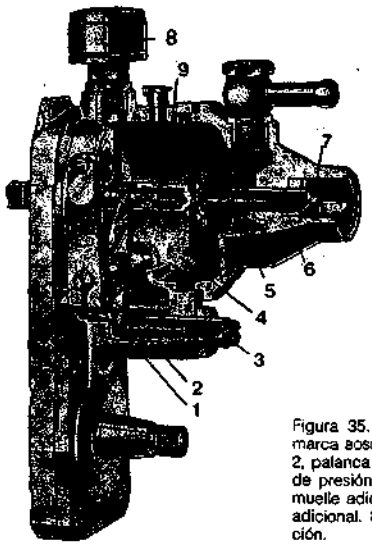


Figura 35. Vista de un regulador neumático de la marca BOSCH, modelo EP/MZ. 1, palanca de mando. 2, palanca doble. 3, tope de plena carga. 4, cámara de presión atmosférica. 5, cámara de depresión. 6, muelle adicional. 7, tornillo de regulación del muelle adicional. 8, filtro de aire. 9, dispositivo de asimilación.

poso y el motor girando a régimen de vacío, la leva (5) presiona sobre el muelle y en el caso de que la membrana llegue a tocar el tope (4) amortigua las posibles variaciones bruscas de depresión provenientes del colector de admisión.

En otros reguladores este mismo mecanismo se produce sin la acción de la leva para simplificar mecanismos de mando y evitar problemas de estanqueidad. Tal es el caso del conjunto que puede verse en la figura 35. Aquí el muelle de amortiguación (6) es regulado en su presión a través del tornillo de ajuste (7). Para ajustar este regulador a un motor determinado se acciona sobre este tornillo hasta conseguir la marcha más estable posible del giro en vacío. Luego ya no se varía a menos que por vibraciones u otras causas haya sufrido movimiento y desajuste.

En esta figura 35, en la que se aprecia un dibujo seccionado de todo el conjunto de un regulador neumático perteneciente a la marca BOSCH, modelo EP/MZ, podemos apreciar la totalidad de los elementos que lo forman. En 1 tenemos la palanca de mando para lograr la posición de paro o stop, pieza que se halla solidaria a la pequeña palanca de paro (2) que en esta ocasión cumple la doble función de paro y también de tope de plena carga para impedir que el motor sea alimentado aún más cuando en virtud de su embalamiento sobrepasa un determinado número de r/min. Esta posición debe regularse, sin embargo, por medio del tornillo de ajuste (3) que puede hacer variar dentro de unos límites la posición tope de la palanca doble (2). El resto de los elementos que se señalan en la figura ya nos son más conocidos: en 4 tenemos la cámara de presión atmosférica que se halla en contacto con el aire exterior, en este caso, a través de un pequeño filtro de aire (8). La cámara de depresión (5) contiene todos los elementos propios del regulador neumático, incluida la válvula de amortiguación (6 y 7) que ya hemos comentado. Por último, tenemos en 9 el mecanismo de unión de la membrana con la varilla de cremallera de la bomba.

Para finalizar con este tema veamos el otro elemento importante que forma parte de este conjunto; nos referimos al mecanismo de la mariposa, que va colocado en el colector de admisión. En la figura 36 tenemos un ejemplo muy corriente de dispositivo de este tipo. Se trata de un sistema que, como puede verse, guarda gran parecido con la parte del difusor de los carburadores corrientes, sólo que en este caso la salida del surtidor queda sustituida por la toma de depresión (2) que a través de un tubo de cierre hermético irá a parar a la cápsula de depresión del regulador. Como puede verse, en el cuerpo de esta válvula existe un difusor (1) y una mariposa (3) que se halla accionada desde la palanca (4) solidaria del varillaje que la lleva al pedal acelerador. El aire que circula por el difusor (1) cuando el motor está en funcionamiento atraviesa el difusor adicional (6) a través de un orificio de paso (7) que se halla practicado en el mismo cuerpo de la mariposa para no impedir el paso del aire aunque esta válvula se encuentre cerrada. Esta corriente de aire succiona a su paso desde la toma de depresión (5) el aire que se encuentra en la cápsula de depresión y se produce el funcionamiento de ésta de la forma ya explicada. Por último cabe destacar la presencia del tornillo de reglaje de la posición de abertura mínima de la mariposa durante el funcionamiento de la marcha en vacío del motor que se halla señalado con el número 8 en la

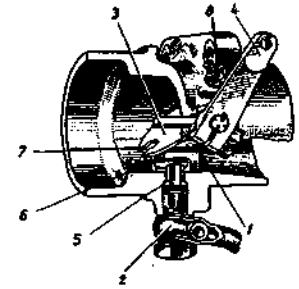


Figura 36. Mecanismo de la válvula de mariposa en el conducto de admisión de un conjunto preparado para un regulador neumático.

figura. Estos son, pues, los elementos que componen un conjunto de un regulador neumático.

Con esto terminamos el tema de los reguladores para las bombas en línea. Existe todavía otro tipo de regulador, el llamado regulador hidráulico, pero su uso se circunscribe a las bombas rotativas de inyección, de modo que nos ocuparemos de él llegado el momento de hablar de las bombas rotativas que son, por otra parte, las más utilizadas en los motores Diesel fabricados para el automóvil, de modo que vamos a finalizar el estudio de la descripción de las bombas de inyección en línea hablando del último elemento que nos queda por estudiar: nos referimos al *variador de avance*. Con ello seguimos el programa que nos impusimos al iniciar este capítulo.

3. El variador de avance

En los motores Diesel lentos, que están construidos para girar a un régimen más o menos constante, tal como ocurre con los motores estacionarios, basta con calcular un avance inicial apropiado que dé tiempo al combustible a desarrollar sus demoras físicas y químicas de que se hablaba en el capítulo anterior, para que la combustión se produzca en el momento adecuado del PMS del émbolo y se prolongue los grados convenientes en el giro de descenso del mismo en su carrera de combustión. En estas condiciones, por medio de un avance inicial se puede acoplar el tiempo de tardanza en que la combustión se inicie al giro de régimen del motor, de modo que la combustión citada se produzca de la forma más conveniente.

En los motores dedicados a la automoción, que pueden adoptar, durante su período de funcionamiento, una variada gama de posibilidades de regímenes de giro, las cosas se complican bastante porque teniendo en cuenta que el tiempo que tarda el combustible para vencer sus demoras es siempre el mismo para cada combustión no lo es, sin embargo, el tiempo de que dispone, que resulta, como es lógico, tanto más breve cuanto más rápidamente está girando el motor. Así está claro que cuando un motor gira a 2.000 revoluciones por *minuto* dispone del doble de tiempo que cuando en un minuto tiene que girar a 4.000 para que la combustión se lleve a cabo. Si el tiempo necesario para que se produzca la combustión es siempre el mismo, es decir, no varía, ya se puede deducir que el desajuste entre los diferentes regímenes de giro de un motor sería muy considerable, sobre todo para los motores que pueden alcanzar un elevado número de r/min y de una manera variable.

Para corregir este efecto se procede a disponer de un mecanismo de *variación del avance* cuya misión va a consistir en hacer que se inicie la inyección tanto antes del punto de avance inicial como mayor sea la velocidad de giro a que se encuentra girando el motor para conseguir por este procedimiento que la combustión siempre se inicie en el PMS del émbolo, en el tiempo de final de compresión, de una manera relativamente ajena a la velocidad angular que el cigüeñal alcance.

En la pasada figura 6 de este mismo capítulo, tuvimos ocasión de ver

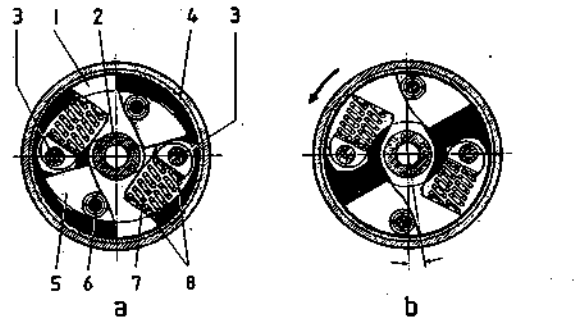


Figura 37. Modo de funcionar un variador automático de avance. 1, disco de avance. 2, cubo. 3, pivotes de articulación. 4, cuerpo del variador. 5, contrapesos. 6, rodillos. 7, muelles. 8, pitones de guía. 9, ángulo de avance.

una bomba de inyección en línea en la que se destacaban sus elementos interiores. Allí, en 10, podemos ver el dispositivo del variador de avance de un tipo muy utilizado en los motores muy rápidos, y también su disposición con respecto a todos los órganos de la bomba. Se trata de un dispositivo variador de avance de tipo automático que funciona por el principio de las masas centrífugas, cuya separación hace variar la sincronización entre el eje de levas de la bomba y el giro del cigüeñal, pudiéndose producir por este sistema una posición variable entre la sincronización de ambas piezas que da como resultado un avance del punto de inyección. De hecho, este variador trabaja del mismo modo fundamental que el avance centrífugo de encendido de los distribuidores de los motores de explosión en los que unas masas polares pueden hacer variar la posición de la leva que acciona los platinos avanzando el momento de abrir éstos para que la chispa se produzca cada vez más avanzada a medida que la velocidad se hace más rápida.

Como puede verse en esta figura 6, el eje de levas de la bomba va sujeto al cubo del variador y es arrastrado por él por medio de un mecanismo que vamos a estudiar acto seguido con la ayuda de la figura 37. Aquí tenemos el dispositivo en las dos posiciones extremas que son, en *a*, la posición en la que no actúa el avance y en *b*, la posición en que se ha logrado un avance máximo en el punto que indican las flechas. Hagamos primero una descripción general para pasar después a estudiar su funcionamiento. Nos encontramos, en primer lugar, con el disco de avance (1) que es una pieza de forma irregular, tal como puede verse, para que puedan adaptarse a él los muelles de las masas centrífugas. Este disco es solidario en su centro del cubo (2) al que va sujeto el eje de levas de la bomba.

Por otro lado tenemos el cuerpo del variador (4) al que no va directamente sujeto el disco, y que es el encargado de recibir la fuerza de arrastre que sincroniza la bomba de inyección con el giro del cigüeñal. Entre el disco (1) y el cuerpo del variador (4) existen las masas polares o contrapesos (5) sujetas al cuerpo desde unos pivotes de articulación (3) que son fijos al cuerpo. Así pues, que quede claro que para que el movimiento de sincronización procedente del cigüeñal llegue al eje de levas de la bomba se precisa que este movimiento sea transmitido al disco (1) a través de los contrapesos (5).

Los contrapesos van provistos, por otra parte, de unos rodillos (6) cada uno de los cuales puede deslizarse a través del perfil del disco (1). Y este deslizamiento se produce, de hecho, tanto más profundamente cuanto más rápido es el movimiento de giro a que están sometidos y por consiguiente cuanto mayor es la fuerza centrífuga que acumulan. Po la parte opuesta, el contrapeso dispone de unos muelles (7) que se apoyan directamente sobre el disco (1) para amortiguar y suavizar los desplazamientos de los rodillos (6) a través del perfil del disco cuando la velocidad aumenta.

El funcionamiento se realiza pues, del modo siguiente: En posición de reposo (*a*) los contrapesos están contraídos por la acción de los muelles (7), y los rodillos (6) se hallan colocados en su posición más alta. En este momento la transmisión del arrastre procedente del motor se comunica al eje de levas (representado por el disco) perfectamente sincronizado con el giro del cigüeñal y con el avance inicial a que la bomba esté calada. No hay pues avance suplementario.

En cuanto el arrastre comienza a aumentar su velocidad de giro, los contrapesos (5) comienzan a desplazarse hacia el exterior haciendo que los rodillos (6) desplacen la posición relativa del disco y el cuerpo del mecanismo, lo que puede dar como resultado un desplazamiento semejante al señalado en 9 del dibujo *b* que corresponde a un avance en el momento de mandar el combustible a los inyectores ya que la leva del eje de levas levanta antes el émbolo de cada una de las bombas.

Un variador como el descrito puede verse en la figura 38 correspondiente a un modelo de la casa BOSCH, modelo EP/S...DR(L). Aquí se han señalado con los mismos números las piezas que vimos en la figura anterior. La vista en perspectiva de estas piezas puede ayudarnos a comprender bien el funcionamiento de este mecanismo. No se olvide que la base de su compresión es precisamente considerar que existe un movimiento intermedio y elástico entre el disco de avance (1) y el cuerpo (4) que gira arrastrado por el motor. Es importante también fijarse en la disposición de los rodillos (6) que se deslizan por el perfil del disco de avance (1), tal como hemos visto en los esquemas de la figura 37.

Basados en sistemas parecidos al descrito se han realizado diferentes diseños de variadores de avance de muy parecidas características. Como ejemplo de ello puede ver el lector el esquema de la figura 39 que muestra un ingenioso modelo de variador de la marca IESA. Su funcionamiento es fácilmente deducible después de haber estudiado el sistema de BOSCH. Sin embargo, vamos a dar una pequeña orientación sobre la forma de comportarse este nuevo di-

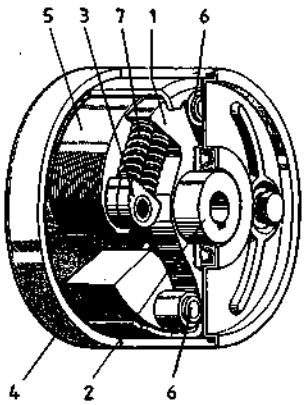


Figura 38. Aspecto exterior del variador automático de avance de la figura anterior. 1, disco de avance. 2, cubo. 3, pivote de articulación. 4, cuerpo. 5, contrapesos. 6, rodillos. 7, muelles.

seño. Como puede verse, consta de una cruz (1) de la que será solidario el eje de levas (ausente en la figura). Esta cruz es independiente de una manera directa del plato de arrastre (2) el cual sujeta, no obstante, las masas polares (3) a través de los pivotes (4). La parte original de este sistema consiste en haber aplicado muelles de lámina (5) en el extremo de las masas centrífugas los cuales se doblan a medida que la fuerza centrífuga los empuja contra la pared del plato de arrastre. Como puede verse en B, el deslizamiento de la punta de las masas polares es la que determina el movimiento relativo de la cruz (1) produciéndose una diferencia, señalada por la flecha *a* de la figura B que determina el avance del encendido.

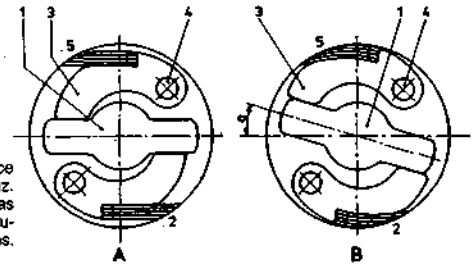


Figura 39. Variador de avance de muelles de lámina. 1, cruz. 2, plato de arrastre. 3, masas polares. 4, pivotes de basculación de las masas polares. 5, muelles de lámina.

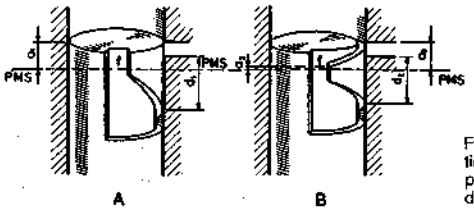


Figura 40. Variación automática de avance según la carga por el labrado de la cabeza del émbolo.

En todos los casos las masas deben estar equilibradas. En la mayoría de las ocasiones el interior de estas cajas suele contener aceite lubrificante para atender a una máxima vida de todos los elementos que la componen, lo que hay que tener en cuenta si alguna vez resulta necesario su desmontaje. Una vez debidamente acopladas y reguladas para un motor determinado se convierten en un mecanismo que muy difícilmente se estropea, aunque sí puede, con el tiempo y los muchos kilómetros, ir perdiendo muy lentamente sus características, de modo que conviene revisarlos muy de tarde en tarde. El punto más débil pueden ser los muelles que con el tiempo pueden ir perdiendo sus características de elasticidad o tensión. Las masas centrífugas, por el contrario, no suelen tener problemas de ninguna clase a través de los años.

Estos variadores de avance, como puede deducirse por su forma de funcionar actúan solamente en un solo sentido, es decir, si giran a derechas, por ejemplo, no pueden aplicarse para girar al contrario, y viceversa.

Otro procedimiento de avance

El sistema de variador de avance de tipo centrífugo no es el único sistema posible que puede realizar esta función. De hecho, en los motores relativamente lentos, se acude a buscar otras soluciones que los ingenieros consideran más convenientes que el sistema centrífugo ya que este sistema, de algún modo, altera la relación motor-bomba y las condiciones en que la inyección se produce de una manera natural. Por ello se han ideado sistemas que sin quedar afectada esta relación puedan considerarse diversas situaciones de avance, y uno de estos sistemas puede ser el que vamos a describir a continuación.

Como hemos estudiado anteriormente, el momento de la inyección en las bombas en línea, se produce cuando la cabeza del émbolo inyector cierra el orificio de la lumbrera de admisión de combustible a la bomba. Veámoslo con una figura. En la figura 40 tenemos en A, la cabeza de un émbolo inyector que acaba de cerrar la lumbrera de admisión de combustible; en este momento, siguiendo con su carrera ascendente, el émbolo inyectará la cantidad de combustible adecuada. El punto de esta inyección solamente depende del avance inicial a que se haya calado la bomba y si la velocidad del motor aumenta no por ello habrá en este sistema un correspondiente avance del punto de la inyección. Sin embargo, veamos lo que ocurre en el caso B de esta misma figura. Aquí se ha labrado en la cabeza del émbolo inyector una rampa mediante la cual se modifica el momento de cierre de la lumbrera según la posición de carga. Funcionando el émbolo inyector a plena carga, como es el caso que se representa en la figura, el avance es prácticamente sólo el inicial; pero a medida que la carga es menor y por consiguiente que el émbolo inyector gira sobre sí mismo presentando a la lumbrera una posición más próxima a la ranura (f) el avance es cada vez menor que el inicial porque el émbolo tarda más tiempo en cerrar la lumbrera: existe, por lo tanto, un *retardo* o un *atraso* en el momento de la inyección.

Combinando el avance inicial con la característica de esta rampa se pueden obtener los mismos efectos que con un avance de encendido. Por ejemplo, si el avance inicial se coloca en la posición de avance máximo tendremos que solamente se dará esta posibilidad cuando el émbolo inyector está proporcionando caudal a plena carga y el retraso sobre el valor inicial se producirá de una forma máxima cuando el émbolo proporcione el combustible para la marcha en vacío.

Por este procedimiento existe una posibilidad de variación que va desde la posición a_2 hasta la a_3 como se deduce de lo dicho.

Conclusión

Con todo lo dicho hasta aquí vamos a dar por terminado este capítulo que se ha dedicado a hacer una exposición general de las soluciones mecánicas conseguidas para la inyección, y al estudio del funcionamiento de las bombas en línea. El tema no queda completo, pues volveremos a ocuparnos de este mismo tipo de bombas cuando hablemos de los trabajos prácticos que hay que llevar a cabo con ellas (cosa que se llevará a término en el próximo capítulo 8), destacando especialmente los trabajos de puesta a punto que son los más importantes que debe conocer el mecánico. Aunque el desmontaje de estas bombas y sus ajustes interiores corresponde a un grupo de profesionales especializados y no debe llevarse a cabo en el taller sin disponer de los medios adecuados a base de aparatos de comprobación que se verán en su momento, sí resulta muy necesario que el mecánico conozca la teoría del funcionamiento de estos elementos ya que son la clave del buen ajuste y comportamiento de los motores Diesel rápidos usados en los vehículos ligeros.

En el capítulo próximo vamos a dedicarnos a estudiar las bombas de inyección rotativas, que son las bombas que suelen llevar la gran mayoría de los motores Diesel utilizados para servir de planta motriz de los automóviles. Estas bombas son de diseño mucho más moderno que las bombas en línea pero su creación se debió a la experiencia conseguida con éstas por lo que todos los conocimientos que se hayan adquirido en este capítulo que ahora finaliza van a sernos indispensables en el estudio de las bombas rotativas que vamos a iniciar seguidamente.

6

LA INYECCION (II) LAS BOMBAS ROTATIVAS

Las *bombas rotativas*, llamadas con mayor rigor *bombas de inyección de distribuidor rotativo*, representan otra nueva opción en la forma de llevar a cabo la inyección de combustible en las cámaras de los motores Diesel. Su funcionamiento resulta algo más complejo que el sencillo y comprensible sistema de las bombas en línea, pues tienen en su técnica y diseño gran cantidad de soluciones que son propias de los circuitos hidráulicos, pero reúnen grandes ventajas, entre las que caben destacar, por ejemplo, su posibilidad de suministrar el caudal requerido a pesar de que el motor térmico esté girando a un muy elevado número de r/min; el de ser más compactas y de reducido tamaño y peso con respecto a las características de este tipo que son propias de las bombas en línea todo ello en relación con el número de inyecciones por minuto que son capaces de proporcionar. Por si ello fuera poco, resultan más económicas en su precio de adquisición por disponer de menor número de piezas, etcétera, cualidades todas ellas de la mayor importancia para ser aplicadas a los motores Diesel que equipan a los automóviles, a los que los ingenieros denominan como «muy rápidos» ya que pueden alcanzar un número de r/min impensable hace pocos años para los motores que utilizan el ciclo Diesel.

En la actualidad las bombas rotativas son las indicadas para una gran cantidad de modelos de motores Diesel muy rápidos y, como dijimos en su momento, solamente MERCEDES-BENZ continúa usando en muchos modelos las

bombas en línea, por lo que el estudio detallado de las bombas rotativas cobra el mayor interés para el mecánico de cara a la reparación del equipo de los automóviles.

Esquema del funcionamiento de las bombas rotativas

Así como las bombas en línea de todas las marcas trabajan de una manera similar, de modo que haciendo la descripción de un modelo ya tenemos una amplia noción de cómo funcionan las restantes, sea de cualquier otro modelo o marca, con las bombas rotativas no existe esta misma condición pues existen varios sistemas diferentes de diseño que hacen que estas bombas adopten entre sí, a veces, bastantes diferencias. Con todo, existe una cosa común que hace iguales a todas las bombas rotativas y que consiste en la idea de estar formadas por una sola leva y un solo elemento inyector sea cual sea el número de cilindros, y después, es un elemento distribuidor el que determinará a cuál de los cilindros del motor le corresponde la inyección recibida. En este aspecto la idea inicial es semejante a lo que ocurre y conocemos en el circuito eléctrico de encendido de los motores de explosión en los que una sola bobina y un solo ruptor son los encargados de producir una corriente de alta tensión que después un distribuidor deberá determinar a qué cilindro manda la corriente según en dónde se esté produciendo el final del tiempo de compresión. Esta es la idea básica que determina el diseño de una bomba rotativa.

En la actualidad coexisten especialmente dos sistemas de bomba rotativa dentro de cuyos esquemas se encuentran la mayoría de bombas de inyección de este tipo que son fabricadas en el mundo. Existe un primer sistema que es el utilizado con preferencia por las marcas CAV, LUCAS, ROOSA-MASTER y ROTO-DIESEL que denominaremos más adelante con el nombre de sistema CAV; y existe otro sistema estudiado y diseñado por la casa BOSCH y sus filiales que presenta diferencias con respecto al primer sistema y que estudiaremos también seguidamente. De todos modos hay que indicar que en la mayoría de los motores de automóvil se utiliza con preferencia el sistema de bomba rotativa CAV cuyo esquema de funcionamiento vamos a estudiar a continuación.

En la figura 1 tenemos un esquema muy simplificado y sencillo del principio de funcionamiento de las bombas rotativas de la marca inglesa CAV en su modelo DPA. Para imaginar el funcionamiento de esta bomba se va a tener que considerar que el eje (S) gira en el sentido de la flecha, mientras el resto del conjunto permanece fijo. En la situación en que se encuentran los mecanismos de la figura la entrada del combustible se produce por A procedente del circuito de alimentación. Si la válvula (E) se encuentra en el estado que se ha dibujado en el esquema, el combustible penetra a través del conducto B hacia el conducto interior del eje (S). Obsérvese que la válvula de estrangulación (E) puede ser desplazada por el mando de dosado (D), por medio del cual puede regularse la cantidad de combustible que puede penetrar por el conducto B.

Una vez el líquido en el conducto B pasa a llenar una cámara móvil que

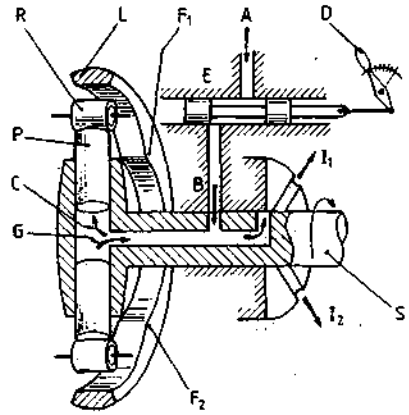


Figura 1. Esquema del funcionamiento de una bomba rotativa del sistema CAV. A, entrada de la alimentación de combustible. B, aspiración. C, llenado de cámara. D, mando de dosado. 3, válvula de estrangulación. F_1 y F_2, lóbulos de la leva. G, impulsión del combustible. P, émbolos inyectores. R, rodillos o tuchos de accionamiento. S, eje distribuidor. I_1 e I_2, salidas de los inyectores.

se encuentra ubicada en el interior de la leva (L). La misma presión de entrada del combustible hace que los pequeños pistones (P) se retiren y permitan el llenado total de su cámara o del combustible que se haya dejado pasar de acuerdo con la posición de la válvula de estrangulación (E).

Ahora es importante fijarse en la posición que adoptan estos pistones (P) en cuya punta se encuentran unos rodillos o tuchos empujadores (R) que pueden llegar a estar en contacto con la superficie interna de la leva (L).

A medida que el eje (S) gira estos tuchos llegan a enfrentarse con cada una de las levas que existen labradas en su superficie interna sobre cuya rampa se deslizan y que en el esquema se han dibujado en las posiciones F_1 y F_2 pero realmente hay tantas levas como inyecciones se tengan que hacer a cada vuelta. Cuando los tuchos llegan a pisar cada una de estas excéntricas o levas deben reducir su longitud para pasar por ellas y esto hace que empujen simultáneamente a los dos pistones inyectores (P) los cuales se introducen en el interior de la cámara y producen la impulsión del combustible (G) que antes la llenaba. Como que en el giro del eje (S) el conducto B ya no coincide con el de la parte fija, y por lo tanto se ha cerrado, el combustible se ve forzado a salir por la salida I_1 o I_2, etcétera, desde donde es mandado hacia el inyector correspondiente. Este proceso puede repetirse 4 ó 6 veces por vuelta según el número de cilindros a los que tenga que alimentar.

Como quiera que es muy importante comprender con la mayor perfección este funcionamiento veámoslo ahora, dibujado con mayor formato, en la figura 2. Aquí reconocemos, en A y B el eje rotor (S) dotado del movimiento que las flechas indican. La posición A corresponde a la entrada del

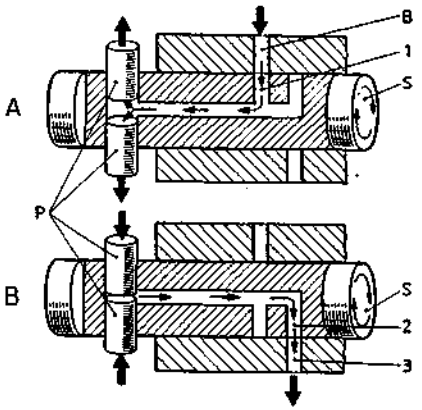


Figura 2. Diferentes posiciones del rotor S con respecto a los orificios de entrada del combustible (B y 1) en el dibujo superior (A), y salida del combustible inyectado por el conducto 3 cuando coincide con 2 del rotor.

combustible a través del orificio (B) cuando se produce la coincidencia entre el orificio citado y el conducto (1) que se encuentra labrado en el mismo eje rotor. La entrada del combustible a presión no tiene más camino que el indicado por las flechas gruesas, de modo que va a la cámara donde se encuentran los pistones (P) a los cuales empuja hacia el exterior con el fin de llenar la cámara tanto como sea necesario según la cantidad de combustible aportado. Esta posición corresponde a la misma situación representada en la figura 3 en la que se puede apreciar muy bien la posición de los conductos por los que circula el combustible. También aquí tenemos en B la entrada del líquido que al no tener salida por 2 se dirige hacia la cámara de los pistones inyectores

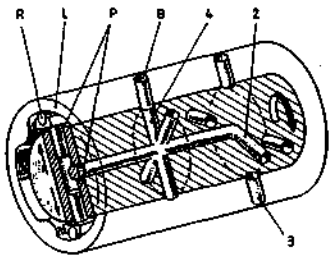


Figura 3. Vista en perspectiva de la disposición de los orificios del rotor de una bomba rotativa con respecto a los orificios fijos del cuerpo de la bomba. Hay que observar la posición de los pistones (P) y de los rodillos (R). En este dibujo el mecanismo se halla en posición de alimentación ya que el combustible entra por B y coincide con uno de los conductos de alimentación del rotor.

(P). El momento en que 2 está a punto de llegar a 3 coincide con el momento en que los rodillos (R) van a encontrarse con los lóbulos o levas de la rueda (L) por lo que durante un instante va a coincidir a su vez la reducción de la cámara por parte de los pistones inyectores (P) y la coincidencia de 2 con 3 por cuyo conducto pasará al inyector el combustible aportado.

Esta segunda fase del funcionamiento lo tenemos en el dibujo B de la anterior figura 2 en donde, como puede verse, los pistones inyectores (P) han sido forzados a la posición mínima de su carrera proporcionando una alta presión al combustible que se había alojado en el interior de su cámara de modo que éste se ve forzado a seguir el conducto que las flechas gruesas muestran hasta salir por el orificio que conduce a uno de los inyectores y que vemos señalado en 3. Esta es la situación que se muestra en el esquema de los conductos de la figura 4. Vemos que los orificios 2 y 3 coinciden. Inmediatamente, a través del giro del eje rotor, 2 y 3 volverán a separarse, momento que coincidirá con el enfrentamiento de los orificios B y 4 con lo que volverá a reproducirse la situación anterior aunque, en virtud del giro del eje, la próxima descarga corresponderá a otro conducto, es decir, se producirá en el conducto (5), que llevará el combustible a alta presión sobre otro inyector. La sucesión constante de este giro determina la inyección en cada uno de los conductos que van a parar a los inyectores llevando el combustible necesario para cada uno de los cilindros.

Este es el principio de funcionamiento de las bombas rotativas de la casa CAV.

Como decíamos al principio, existen además otros sistemas, que si bien son parecidos no son iguales, y un ejemplo bien claro de lo dicho es el presentado en la figura 5 correspondiente a una producción de la casa alemana BOSCH. Aquí la solución de esta bomba rotativa guarda gran parecido con la técnica de los émbolos de las bombas en línea aun cuando participa, por supuesto, de las características de un solo elemento inyector y un distribuidor como es la característica fundamental de las bombas rotativas. En esta figura podemos ver como el pistón hace las veces de inyector y de distribuidor al

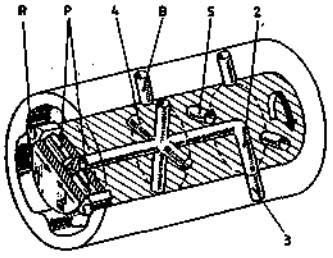


Figura 4. El mismo mecanismo de la figura anterior se encuentra ahora en posición de inyección ya que coinciden los rodillos sobre los lóbulos de la leva y los orificios de inyección (2 y 3) también coinciden. La alimentación entre B y 4 ha quedado interrumpida por el propio giro del rotor.

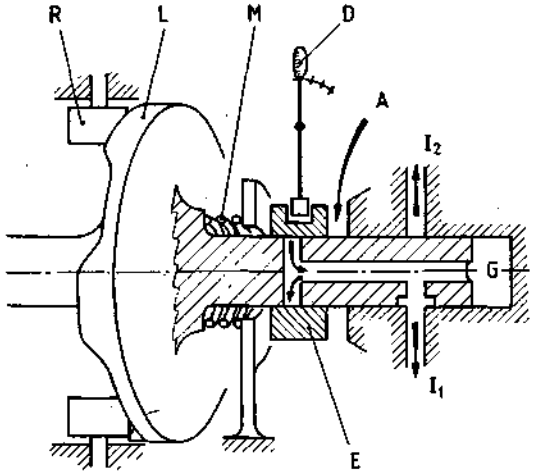


Figura 5. Esquema de funcionamiento de la bomba rotativa BOSCH. R, rodillos tope de la leva. L, leva axial. M, muelle antagonista. D, palanca de regulación y dosado. A, alimentación. I_1 e I_2, inyecciones. G, cámara de inyección. E, distribuidor de reglaje de la duración de la inyección.

mismo tiempo. La leva (L) es una pieza que incorpora a su vez al pistón cuyo movimiento irá regido por la acción de un muelle antagonista (M) y de la posición de los rodillos de tope de la leva (R) con respecto a la rampa de los lóbulos que la misma presenta. Así, cada vez que los rodillos (R) se encaren con los lóbulos, toda la pieza se desplazará hacia la derecha en la citada figura 5, reduciendo la cámara (G) en la que se halla el combustible, el cual se verá forzado a partir por I_1 hasta su inyector correspondiente. Cuando los lóbulos de la leva permiten que la cámara G se agrande y el pistón vaya con la leva hacia la izquierda, se descubre más o menos, según la posición del manguito de dosado (E) del mando (D), el orificio de admisión y se produce de nuevo el llenado de la cámara. Como quiera que aquí el pistón no es flotante, como en el caso que vimos de las bombas CAV, se produciría un vacío y se vaporizaría el combustible si el dosado se regulase por estrangulación. El manguito de dosado (E) es ahora un sencillo distribuidor que igual alimenta la cámara (G), mientras da paso al líquido (A) descubriendo el orificio, que inicia la descarga súbita de presión y termina la inyección cuando vuelve a descubrir el orificio. Al girar el pistón con su leva va admitiendo e inyectando sucesivamente a cada uno de los cilindros tal como se ve en la figura, por I_1, I_2, etcétera, a lo largo de cada vuelta para ir alimentando a cada uno de los cilindros de que consta el motor.

Este tipo de esquema de funcionamiento corresponde a las bombas rotativas de BOSCH, de los tipos EP/VM de las que nos ocuparemos muy pronto en próximas páginas. Ahora, y una vez comprendidos los esquemas que nos dan una base de conocimiento de la forma de estar constituidas estas bombas de inyección, vamos a pasar a un estudio más completo de las mismas.

Bomba rotativa tipo DPA de la CAV

El esquema de funcionamiento que presentamos en la pasada figura 1 corresponde de pleno a este tipo de bomba de la CAV-LUCAS cuyo conjunto seccionado podemos verlo en la figura 6, ahora completos todos sus mecanis-

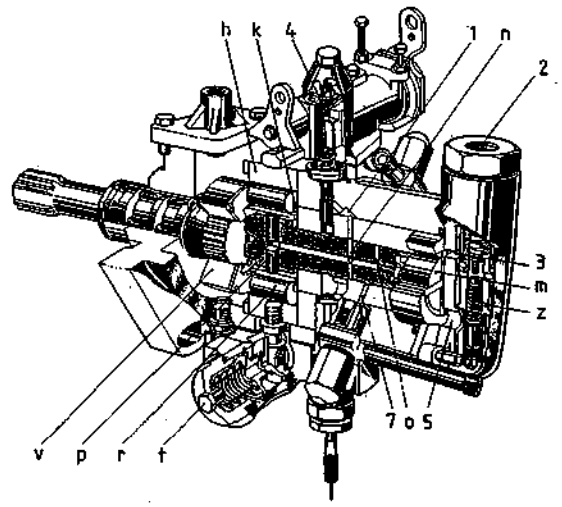


Figura 6. Vista seccionada de la bomba inyectora rotativa, modelo DPA de la CAV. 1, lumbrera de admisión de combustible. 2, conducto de entrada del combustible. 3, lumbrera de carga. 4, regulador hidráulico. 5, lumbrera de cebado. 7, lumbrera de salida de la inyección. h, leva. k, gulas. m, bomba de paletas de alimentación general. n, lumbrera de admisión en el rotor. o, lumbrera de distribución. p, pistones inyectores. r, rodillo de empuje. t, regulador de avance. v, placa de transmisión. z, válvula reguladora de presión.

mos y circuitos interiores. De acuerdo con el esquema primario de la figura 1 mencionada tenemos que en la figura 6 podemos encontrar los elementos que fueron dibujados de una manera esquemática en aquella figura. Conviene una mirada atenta a esta figura 6 para reconocer todos los elementos fundamentales que componen el mecanismo de esta bomba muy popular. Así podemos reconocer en 1 la lumbrera de admisión del combustible, es decir, aquel orificio por el que penetra el combustible de acuerdo con la posición que haya adoptado la válvula de estrangulación que se aprecia al lado de esta lumbrera. En el momento que representa este dibujo se aprecia que el combustible puede pasar por el conducto de admisión (n), que se halla labrado en el interior del eje, de modo que puede ir a llenar la cámara donde se encuentran los pistones inyectores (p), que se aplican sobre los rodillos (r) sujetos a unas guías (k) y se desplazan por la superficie lobular de la leva (h). Cuando los pistones inyectores son obligados a reducir el volumen de su cámara y la lumbrera (1) se ha cerrado, el combustible se ve forzado a salir por la lumbrera de distribución (o) desde donde saldrá a través del orificio correspondiente hacia el inyector que se encuentra en el motor. En 7 de esta figura podemos ver uno de estos conductos.

Hasta aquí queda explicado todo aquello que es coincidente con el esquema básico de funcionamiento que ya habíamos visto en la figura 1. Sin embargo, para el conocimiento de esta bomba quedan aún por explicar todos aquellos mecanismos anexos que hacen de este tipo de bomba un producto eficaz en las diversas condiciones de funcionamiento en que se encuentra en un motor Diesel muy rápido.

Ante todo hay que señalar que estas bombas rotativas pueden estar provistas de un regulador hidráulico, como es el caso que se podrá apreciar en la figura 6, pero también de un regulador mecánico. Este último caso lo tenemos representado en la bomba de la figura 8 en cuyo corte interior se aprecian los mecanismos del regulador mecánico que será descrito más adelante.

Volvamos a la figura 6, y empecemos por la explicación de la bomba rotativa CAV provista de regulador hidráulico. En primer lugar nos encontramos, a la derecha de esta figura, el conducto de entrada del gasóleo (2), o boca de alimentación, que dispone de una válvula de regulación de presión compuesta por todo el conjunto (z) de esta entrada, que consta de un filtro y de una válvula accionada por medio de un muelle. También nos encontramos con una bomba rotativa de paletas (m), que es accionada por el propio eje principal, y que constituye el conjunto de alimentación general de la bomba de inyección. Esta bomba de paletas proporciona una presión de alimentación para todo el combustible que existe en el interior del cuerpo de la bomba de inyección. Esto es lo que compone los mecanismos de alimentación.

Pero es preciso ver este circuito con mayor detalle con la ayuda de la figura 7. Aquí tenemos representado en esquema todo el circuito de alimentación y también los diferentes valores de presión del combustible presentes en el interior del circuito. Desde el depósito de combustible (A) el líquido es aspirado por medio de una bomba de alimentación general (B) provista de

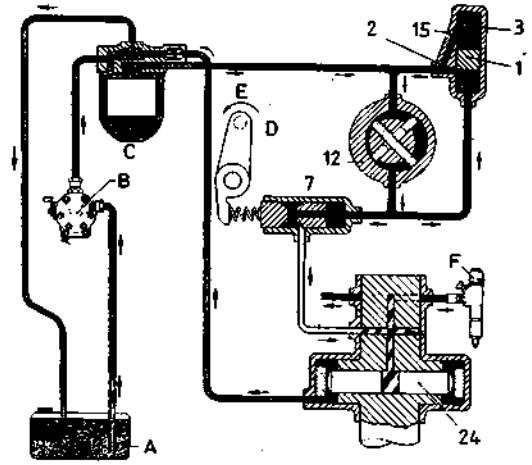


Figura 7. Sistema de alimentación de combustible exterior e interior de una bomba rotativa DPA provista de regulador hidráulico. A, depósito general. B, bomba de alimentación accionada por el motor. C, filtro principal. D, palanca de aceleración. E, sentido de aumento de la velocidad. F, inyector. 1, émbolo de la válvula reguladora. 2, conducto de by-pass. 3, muelle antagonista. 7, válvula dosificadora. 12, bomba de paletas. 15, válvula dosificadora. 24, pistones inyectores.

un cebador y accionada directamente por el motor térmico. Como es habitual, el combustible es mandado a un filtro (C) en el que sufre un proceso de limpieza a fondo para pasar seguidamente al interior de la bomba rotativa de inyección por el racor de entrada señalado con 2 en la figura 6.

Obsérvese, en la figura 7 que nos ocupa, la posición de la bomba de paletas (12) y de la válvula de regulación de presión (15) que tienen por misión mantener una presión de alimentación estable. Para ello la válvula (1) puede abrir o cerrar el paso (2) según el equilibrio que exista entre la presión del muelle (3) y la presión que vaya recibiendo a través del conducto de la bomba de paletas (12). Como quiera que la bomba de paletas va unida al eje de la bomba de inyección tiene una velocidad variable que depende a su vez del giro del motor, de modo que a velocidades de marcha en vacío la presión que proporciona es mucho menor que al máximo régimen de giro del motor. Para estabilizar estas diferencias de presión existe la *válvula reguladora*. Efectivamente, cuando la bomba de paletas gira a gran velocidad su presión es suficiente para levantar el émbolo (1) el cual deja al descubierto un conducto

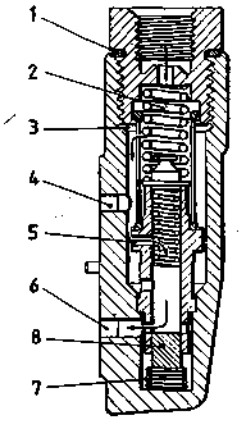


Figura 8. Esquema del interior real de la válvula reguladora de presión. 1, entrada del combustible. 2, muelle de regulación. 3, filtro de nylón. 4, paso a la aspiración. 5, manguito de la válvula. 6, conducto de salida. 7, muelle de cebado. 8, pistón regulador.

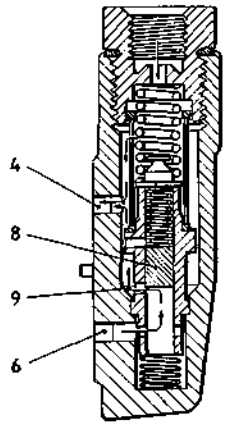


Figura 9. Situación de la válvula reguladora durante la marcha normal.

by-pass que, tal como indican las flechas, deja escapar una buena parte del combustible bombeado, el cual vuelve de nuevo a la entrada de la bomba y produce a su salida una caída de presión mediante la cual puede mantenerse ésta dentro de los valores más correctos, a pesar del giro más o menos rápido del motor de combustión. Otra segunda particularidad de esta válvula viene determinada por el hecho de que, cuando se produce el cebado del circuito por medio de la válvula manual de cebado de la bomba de alimentación (B), permite desviar el paso del combustible por la bomba de paletas, de modo que el circuito pueda cebarse sin la oposición de las paletas que cerrarían el paso a los demás conductos.

En la realidad esta válvula reguladora tiene la composición interior que se muestra en la figura 8 y que puede compararse con el dibujo de esta parte que queda en la zona derecha de la figura 6. El combustible entra por 1 impulsado por la presión lograda por la bomba de alimentación (B, de la figura 7) atraviesa el muelle de regulación (2) y, siguiendo la dirección de la flecha, atraviesa el filtro de nylón (3). En posición de cebado, como es el caso que indica esta figura (la bomba de paletas está parada) el combustible no entra por el conducto (4) que conduce a la admisión de la bomba de paletas sino

que atraviesa el orificio de entrada en el manguito de la válvula (5) tal como indica la flecha de esta figura, continúa por el interior del manguito y sale por el conducto (6) que lleva al orificio de alimentación de la bomba de inyección, dejando en cortocircuito la presencia de la bomba de paletas, produciéndose de este modo el cebado de todos los conductos interiores de la bomba. Para que el cebado representado por esta figura se lleve a cabo hay que contar con que la presión del combustible sea suficiente para vencer la acción del muelle (7) desplazado por el pistón regulador (8) que constituye la verdadera fuente de regulación de esta válvula. Cuando la bomba de inyección está cebada la presión que se ejerce en 6 es superior a la de entrada de combustible por lo que el pistón (8) es empujado por el muelle (7) y obtura las lumbreras de salida del combustible.

Durante la marcha, la acción reguladora de esta válvula queda explicada por medio de la figura 9 en donde el pistón (8) forma, con su desplazamiento hacia arriba o hacia abajo, el elemento regulador de la presión reinante en el circuito. En efecto: Como puede verse, el combustible entra de la misma forma que hemos visto en la figura 8 y atraviesa el filtro hasta llegar al conducto de aspiración de la bomba de paletas que se halla señalado con 4. Desde aquí, el combustible pasa a la bomba de paletas y establece la presión necesaria para el buen funcionamiento. Si el régimen de giro aumenta y con él la presión del combustible esta variación se denota rápidamente en el conducto (6) que está en contacto con la bomba de paletas, de modo que el pistón (8) se retira, deja de obturar su lumbrera y abre el paso (9) que devuelve parte del combustible al conducto de aspiración (4) con lo que se produce una caída de presión a la salida de la bomba de paletas. El equilibrio entre las presiones que se establecen entre 4 y 6 determinan la regulación de un valor estable de alimentación de toda la bomba de inyección.

Regulador hidráulico

Otra de las características nuevas que nos presenta esta bomba de inyección rotativa la vamos a encontrar en el funcionamiento del regulador hidráulico que vimos señalado en 4 de la pasada figura 6. Este tipo de regulador resulta mucho más sencillo y fácil de comprender que los reguladores mecánicos centrífugos que estudiamos en el pasado capítulo para las bombas en línea por lo que vamos a dedicarle bastante menos espacio.

En la figura 10 tenemos un esquema de la forma de comportarse este mecanismo regulador. Los elementos fundamentales son, por una parte, la propia palanca de aceleración (1) que dispone en su extremo de un piñón que a su vez engrana en una cremallera desplazable (7) la cual puede modificar la posición de la válvula dosificadora (5) que es la clave de este conjunto. A este respecto, obsérvese cómo esta válvula dosificadora tiene su interior hueco. El combustible, a la presión de alimentación que le imprime la bomba de paletas y su equipo de regulación, penetra desde abajo por el interior de la válvula dosificadora y sale por los orificios anulares desde donde puede pasar al me-

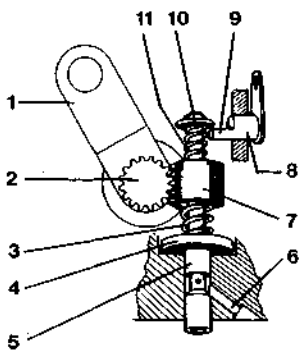


Figura 10. Detalle del funcionamiento del regulador hidráulico de una bomba rotativa CAV. 1, palanca de aceleración. 2, piñón de accionamiento. 3, muelle del regulador. 4, placa de amortiguación. 5, vástago de la válvula dosificadora. 6, orificio de salida del combustible. 7, manguito de control con cremallera. 8, eje de cierre. 9, leva de medio punto. 10, arandela de cierre. 7, muelle de ralentí.

canismo de inyección de la bomba a través del conducto (6) —que es el mismo que señalamos en 1 de la pasada figura 6. Como quiera que la válvula dosificadora (5) puede ser desplazada por la cremallera (7), su posición determina el estado de abertura o cierre en que se encuentre el conducto de paso del combustible (6).

El efecto regulador se establece del siguiente modo: La válvula dosificadora (5) se halla sometida a dos fuerzas antagonistas que son, por una parte, la presión a que recibe el combustible a través de sus orificios internos, presión que oscila entre una pequeña gama de valores; y por otra, la acción antagonista del muelle (3), que se halla calibrado, y cuya presión depende de la posición de la cremallera (7) la cual, a su vez, resulta solidaria de la palanca del acelerador.

El momento de pedir la máxima aceleración está representado por el dibujo de la figura 10. La posición de la palanca de aceleración (1) ha determinado que la cremallera baje y proporcione la máxima presión al muelle del regulador (3) de modo que la válvula dosificadora llega a tope cuando su platillo de amortiguación (4) llega al fondo del cilindro por el que se desliza. Como que todo este mecanismo está sumergido en gasóleo, el platillo (4) hace las veces de amortiguador cuando desciende y llega al final de su carrera. En este momento, la válvula dosificadora (5) se debería mantener abierta al máximo para permitir el paso del combustible por 6; pero ocurre que al mismo tiempo aumenta el régimen de giro del motor (y con ello la presión a que recibe el combustible por su base también aumenta), por lo que sufre un empuje axial que tiende a vencer en parte la presión del muelle de regulación (3), por lo que la válvula se puede desplazar hacia arriba y reducir la sección de paso por el conducto del combustible (6). Al reducirse el caudal de este combustible mandado, la presión que llega de forma axial a la válvula dosificadora también decae por lo que recupera la posición del muelle y el caudal aumenta ligeramente. El equilibrio entre estas fuerzas que hemos descrito hace que se pueda mantener la estabilidad de giro del motor por la regulación del caudal de combustible aportado a todos y cada uno de los inyectores, con la misma seguridad a la que vimos para los reguladores centrífugos de las bombas en línea, pero de una manera mucho más simple.

La figura 10 todavía nos muestra el mecanismo de marcha en vacío y el de paro, que están representados por los elementos que forman la parte alta de la figura. Allí vemos un muelle (11) que hace tope en la arandela de cierre (10) por arriba, y por abajo, con la propia cremallera (7). Se trata del mecanismo de regulación de la marcha en vacío. Cuando la palanca del acelerador (1) se encuentra en posición de no accionamiento la cremallera alcanza su posición más alta con lo que se reduce la presión sobre el muelle (3) del regulador y la válvula de dosificación (5) asciende tapando el orificio (6) de salida del combustible. El cerrado, sin embargo, no es completo porque el muelle (11) de marcha en vacío ejerce una presión sobre la válvula de dosificación que se equilibra con la presión que ejercen el combustible y el propio muelle del regulador (3). El suministro de combustible se va regulando en virtud del equilibrio de todas estas fuerzas. La mayoría de estas bombas dotadas con regulador hiudráulico disponen de un tornillo de regulación que, al servir de tope a la cremallera, establecen la marcha en vacío mínima con la seguridad de haber logrado una velocidad de régimen adecuada.

Por último nos queda por describir el mecanismo de paro. Se trata de un mecanismo verdaderamente sencillo. En la figura 10 tenemos en 8 un eje que puede ser accionado desde el puesto de mando del conductor. Al hacer girar este eje, por medio de la leva de medio punto (9) que hace tope con el vástago de la válvula dosificadora (5), la levanta hasta una posición de total cerrado del orificio de entrada de combustible a la bomba (6) de modo que el caudal para ésta queda interrumpido del todo incluso de una manera independiente de la posición en que se halle la palanca del acelerador y por consiguiente de la cremallera.

Para la buena comprensión del funcionamiento de este regulador se recomienda consultar las figuras 6 y 7 en donde también están representados los elementos que componen este regulador hidráulico.

Reglaje del caudal máximo

Las bombas rotativas del sistema CAV pueden regular el caudal máximo proporcionado por la bomba por el sencillo procedimiento de reducir la carrera de los pistones inyectores que, como sabemos y hemos visto en la pasada figura 6, son unos pistones flotantes. Para mayor información digamos que nos referimos a los pistones (p, de la figura 6) que giran junto con todo el rotor del eje general. La cámara que se forma cuando los pistones inyectores se hallan separados hacia sus extremos opuestos puede ser regulada para que resulte más o menos pequeña lo que significará sin duda una mayor o menor

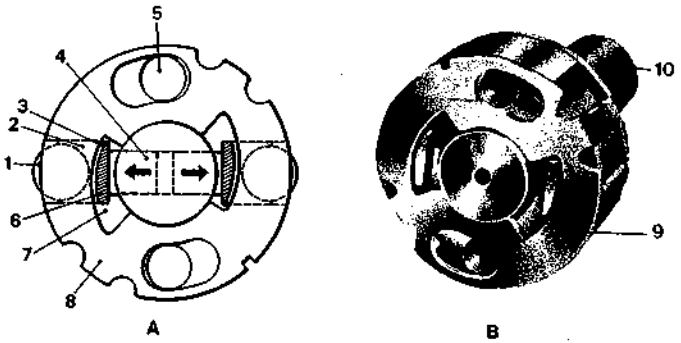


Figura 11. Mecanismo de regulación de la carrera de los pistones inyectores y por consiguiente del caudal del combustible de inyección. 1, rodillo, 2, porta-rodillos. 3, juego de los émbolos. 4, émbolos o pistones de inyección. 5, tornillos colisos. 6, orejetas de zapata. 7, ranuras excéntricas. 8, placa de ajuste superior. 9, placa de ajuste inferior. 10, rotor.

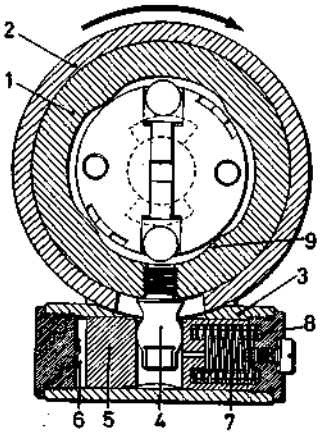


Figura 12. Disposición que adopta el variador de avance automático. 1, anillo lobulado. 2, cuerpo de la bomba. 3, cilindro del variador. 4, rótula de avance solidaria del anillo lobulado. 5, émbolo de avance. 6, cámara de combustible de transferencia de presión. 7, muelle de ajuste interior. 8, muelle exterior. 9, lóbulo o excentricidad del anillo lobulado.

capacidad de la cámara y por consiguiente un mayor o menor volumen máximo de combustible mandado a cada uno de los inyectores.

La pieza fundamental de esta bomba es el rotor que podemos ver en 10 de la figura 11 y cuyo esquema se muestra en la parte *a* de la figura. Aquí tenemos representados los dos pistones inyectores (4) en los que las flechas indican sus desplazamientos máximos que vienen limitados por las orejetas de zapata (6) sobre las que los pistones hacen tope. Obsérvese, sin embargo, que estas orejetas tienen por su parte exterior un perfil redondeado en forma de cuña, el cual se apoya sobre unas ranuras (7) que también disponen de un perfil semejante. Por otro lado tenemos que la placa de ajuste superior (8) se fija al conjunto por la mediación de dos tornillos (5) colisos, es decir, que pueden cambiar la posición de esta placa con respecto al lugar donde está sujeta tal como ocurre, por ejemplo, en las placas de sustentación del ruptor en los motores de explosión para la puesta a punto de los platinos. Al mover la placa (8) con respecto a la placa de ajuste inferior que los tornillos (5) sujetan, la posición relativa entre las ranuras (7) y los patines u orejetas de tope de los pistones inyectores (4) varía, ganando un espacio que hace posible una carrera más larga o menos (según el sentido de giro) para los pistones inyectores (4). Esto significa a su vez la posibilidad de inyectar un mayor o menor caudal máximo.

Avance automático

Cuando estuvimos hablando de las bombas en línea, en el pasado capítulo, ya expusimos la necesidad y el objetivo que se pretendía con el avance automático, en definitiva conseguir avanzar el punto de la inyección con respecto al giro del cigüeñal cuando la velocidad de éste aumenta y se dispone, por consiguiente, de menor tiempo para que la combustión se realice.

Las bombas rotativas también disponen de avance automático y una parte de este mecanismo tuvimos ocasión de verlo en las tantas veces citada figura 6, señalado con t. Pues bien: de forma esquemática veámoslo ahora en la figura 12. En esta figura tenemos en el centro el rotor que hemos descrito en la anterior figura 11 que gira mientras el anillo lobulado (1) que es el que lleva labradas las levas en su interior como se aprecia en el dibujo, permanece inmóvil. Este anillo sin embargo, puede desplazarse ligeramente dentro del cuerpo de la bomba (2) en que se halla alojado y este movimiento determinaría el desplazamiento de las levas que haría que los pistones inyectores actuaran antes del tiempo requerido, de modo que se formalizaría así un avance de encendido o de inyección que cumpliría con los requisitos necesarios para este tipo de automatismos.

El sencillo mecanismo de avance se halla ubicado en la parte baja de la bomba tal como se aprecia en la figura 12. El anillo portador de los lóbulos o levas lleva anclado en su parte baja un tope en forma de rótula (4) que queda a merced de la fuerza antagonista de dos dispositivos cuyo equilibrio determinará la posición de la rótula. Por la parte de la izquierda tenemos un émbolo

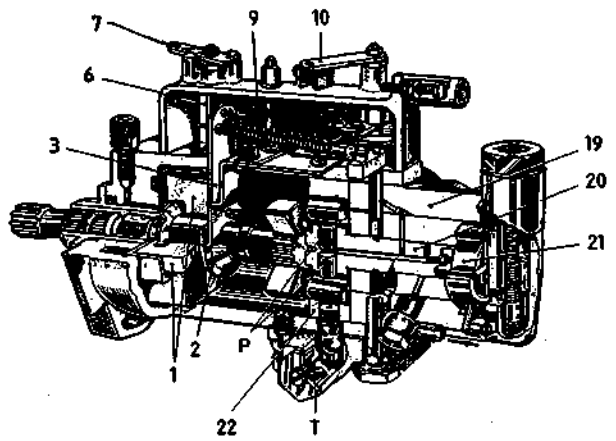


Figura 13. Vista seccionada de una bomba rotativa DPA provista de regulador mecánico centrífugo. 1, masas centrífugas. 2, manguito deslizante. 3, palanca de mando del regulador. 6, eje de cierre excéntrico. 7, palanca de cierre. 9, muelle de carga del regulador. 10, palanca del acelerador. 19, cabeza hidráulica. 20, rotor. 21, bomba de alimentación de paletas. 22, anillo de levas. P, pistones inyectores. T, mecanismo del avance automático.

(5) que dispone de una cámara (6) a la que llega la presión del combustible. Por supuesto, cuanto mayor es esta presión (y ello se ocasiona cuando el motor térmico aumenta su velocidad de régimen) mayor es el llenado de la cámara (6) y en su consecuencia el émbolo (5) es desplazado hacia la derecha de la figura arrastrando con ello a la rótula (4) y presionando sobre los muelles de la pieza de tope (7). En el momento en que la velocidad de giro del motor decrece, decrece también la presión en la cámara 6 y la fuerza de los muelles de la pieza (7) hacen regresar con la rótula (4) al anillo lobulado (1) hacia una posición más retrasada con lo que el avance se retira a unos grados menos de acuerdo siempre con la velocidad de régimen.

Eligiendo con acierto la dureza de los muelles 7 y 8 se puede conseguir que el equilibrio de fuerzas entre ambas partes quede modificado y en su consecuencia se consiga el avance máximo a mayor o menor número de vueltas. En algunas ocasiones se añaden arandelas de reglaje para conseguir este efecto.

Los avances logrados por este procedimiento son del orden de los 9 grados pero con la ayuda de arandelas de reglaje se pueden conseguir hasta los 12 o 14 grados lo que resulta suficiente en la gran mayoría de los casos.

Con esto damos por terminada esta descripción general de la bomba de inyección rotativa de la marca CAV y modelo DPA, provista de regulador hidráulico. Estas bombas se fabrican también provistas de un regulador mecánico que adopta unas características especiales con respecto a lo que hemos estudiado sobre estos mecanismos en el capítulo anterior. Por lo tanto vamos a ver en qué consiste su funcionamiento.

Bombas DPA con regulador mecánico

En la figura 13 puede apreciar el lector una bomba CAV del modelo DPA en la que van a serle familiares muchos de los elementos que muestra el dibujo seccionado, pero no así el regulador que ocupa la parte alta de la figura. Se trata de una bomba rotativa de esta marca provista de regulador mecánico.

Como puede apreciarse tras una atenta observación de la figura solamente los elementos correspondientes al regulador mecánico centrífugo son ajenos a una explicación similar a la que hemos dado para la bomba provista de regulador hidráulico. Así vemos en la figura 13 las masas centrífugas (1) del regulador y el manguito deslizante (2) a través del cual se produce el funcionamiento mecánico de este regulador, que será conveniente verlo por separado para estudiarlo con mejor atención. Por ello el esquema de la figura 14

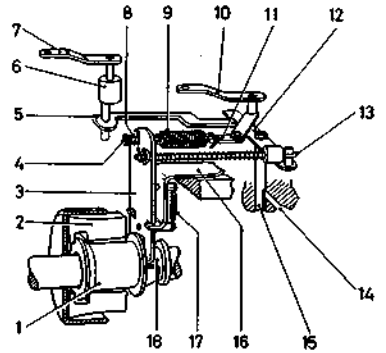


Figura 14. Esquema del funcionamiento del regulador mecánico centrífugo de las bombas DPA. 1, manguito de empuje. 2, masas centrífugas. 3, placa de mando del regulador. 4, guía del muelle de ralentí. 5, barra de cierre. 6, eje de cierre excéntrico. 7, palanca de cierre. 8, muelle de ralentí. 9, muelle de carga del regulador. 10, palanca del acelerador. 11, bieleta de conexión. 12, palanca de control. 13, tope de fijación del muelle de carga. 14, lumbrera de dosificación. 15, válvula dosificadora. 16, soporte de control. 17, muelle. 18, eje de transmisión.

va a servirnos de base para el estudio de este importante dispositivo que es un regulador de regulación continua.

El funcionamiento del conjunto centrífugo es semejante a lo estudiado en otros casos: Existe un manguito de empuje (1) sobre el que se apoyan los extremos de las masas centrífugas (2), las cuales, según la velocidad de giro a que están sometidas presionan sobre el manguito de empuje y lo desplazan con más o menos fuerza sobre un extremo de una placa de mando (3) que es, en definitiva, una palanca sujeta por un soporte (16) y mantenida en su posición de reposo por medio de un muelle (17). Así pues, cuando el manguito es desplazado hacia la derecha de la figura en virtud del empuje que le proporcionan las masas centrífugas, el extremo opuesto de la placa de mando señalado con el número 8 se inclina hacia la izquierda atrayendo con ella todo el conjunto de palancas que forman la parte alta del regulador.

En este sentido la palanca más importante de todo este sistema es la palanca de control (12) en cuyo centro se halla anclada la válvula dosificadora (15). Esta válvula cumple igual misión que vimos para la del mismo nombre en los reguladores hidráulicos, pero presenta la variedad de que no se desplaza a lo largo del conducto sino que esta vez se limita a rotar, es decir, a girar sobre sí misma de acuerdo con el movimiento que le proporcione la palanca de control (12) de modo que según cómo se encare, en su rotación sobre la lumbrera (14) de entrada del combustible a la bomba, permite el paso de un mayor o menor caudal de combustible.

Por otra parte tenemos la palanca del acelerador (10) que se halla en comunicación con todo este mecanismo por medio de una plaquita de enganche (11) a la que va sujeto a su vez un muelle calibrado (9) que, como se observa en la figura, puede estar colocado en diferentes posiciones de la plaquita debido a que ésta tiene varios agujeros de enganche que proporcionan diversos estados de presión al muelle (9). Por último, el muelle va a su vez sujeto a la llamada guía de marcha en vacío (4) también provista de su correspondiente muelle para el control de la marcha lenta. A través de todos estos mecanismos elásticos la palanca de aceleración puede accionar sobre el extremo de la placa de mando y transmitir el movimiento a la palanca de control (12) desde su extremo (13) colocando la válvula dosificadora (15) en las condiciones requeridas para permitir que un determinado caudal de combustible penetre por la lumbrera de alimentación de la bomba inyectora propiamente dicha.

Como puede observarse, el movimiento de la palanca de control (12) no depende solamente del mando de aceleración (10) sino también de la posición que el manguito deslizante (1) posea de acuerdo con el movimiento que le impriman las masas centrífugas (2) de modo que entre este equilibrio de fuerzas se produce la regulación de la bomba y la posición precisa en cada momento de la válvula dosificadora (15).

Los diferentes estados de funcionamiento de este regulador se producen de la siguiente manera: En el momento del arranque, la palanca del acelerador puede estar en su posición de máxima abertura sin que intervengan las fuerzas antagonistas del manguito deslizante, de modo que la válvula dosificadora se encuentra en el máximo estado de suministro de combustible.

Una vez puesto en marcha el motor, la palanca del acelerador retrocede a su posición de reposo y entonces es el muelle (4), de un calibrado muy fino, el que se encarga de corregir las irregularidades del giro del motor por medio del control muy preciso del suministro, sirviendo de freno a los deslizamientos excesivos del manguito en virtud de un embalamiento del motor.

Durante la marcha normal el equilibrio se establece entre el muelle (9) y el manguito deslizante (1) del modo que se deduce de la explicación dada con anterioridad. Así pues, a una determinada posición del pedal acelerador corresponde una determinada posición de la válvula dosificadora. Cuando el motor se embala, las masas centrífugas aceleran su giro y producen mayor presión sobre la placa de mando (3) con lo que se reduce ligeramente la posición de la válvula dosificadora. Si el motor pierde vueltas ocurre al contrario, es decir, que al ser las masas centrífugas las que giran más despacio gana posición la presión del muelle de modo que la válvula dosificadora tiende a proporcionar mayor cantidad de combustible. Este funcionamiento resulta permanente y bastante preciso durante todos los estados de marcha del motor.

Por último, en el caso de paro del motor se utiliza la palanca (7) provista de un eje de cierre excéntrico. Cuando esta palanca se hace girar en la posición de paro o stop desde el puesto de mando del conductor del vehículo, la palanca (5), que se halla en contacto directo con la palanca de control (12), coloca a ésta en una posición correspondiente al corte total del suministro de combustible, y lo hace independientemente de la posición a que se halle la palanca del acelerador (10), de modo que el motor se ve forzado a pararse.

En la figura 15 tenemos un despiezo total de una bomba de este tipo con regulador mecánico.

Las bombas provistas de regulador mecánico, ya sea tal como el descrito o bien del tipo mini-maxi más sencillos, son las más utilizadas en los motores de automóvil de un modo general; pero algunas marcas están trabajando también con éxito con las bombas provistas de regulador hidráulico que son más pequeñas y de menor peso además de que pueden proporcionar también una regulación muy precisa.

Algunas marcas como la ROTO-DIESEL han trabajado en tipos de bombas más compactas a pesar de estar equipadas con reguladores centrífugos. De este tipo son los modelos DPC, de gran utilización en los motores Diesel franceses para automóvil, cuyo funcionamiento está basado en el mismo principio y esquema de las bombas CAV de la serie DPA que hemos descrito. La diferencia consiste, fundamentalmente, en la disposición de algunos de sus órganos y en la aplicación de un dispositivo de sobrecarga, de puesta en acción automática, que trabaja independientemente del regulador, y que modifica la carrera de los pistones inyectores por un ingenioso procedimiento por medio del cual se desplaza la posición de los patines de regulación de la carrera de los pistones inyectores de modo que la excentricidad de su perfil les acorta o alarga la carrera de un modo automático de acuerdo con la presión del combustible en el interior de la bomba y de la velocidad de giro. Se trata pues de un nuevo automatismo añadido a la bomba de inyección que le proporciona un mejor servicio para su aplicación a los motores Diesel muy rápidos.

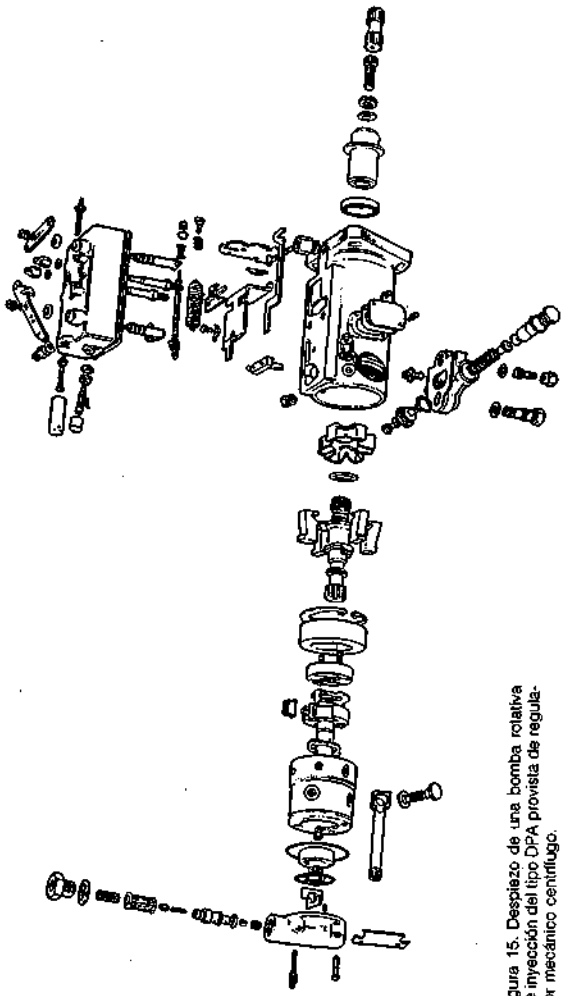


Figura 15. Despiezo de una bomba rotativa de inyección del tipo DPA provista de regulador mecánico centrífugo.

Las bombas rotativas de este tipo DPA descritas son muy utilizadas por los fabricantes de motores PEUGEOT, TALBOT, CITROEN y se aplican también en la mayoría de los motores de la marca PERKINS. Las marcas citadas en primer lugar también utilizan las bombas rotativas de la casa BOSCH, de tipos semejantes a los que vamos a describir a continuación, y, al igual que ocurre con los equipos de encendido de los automóviles provistos de motor de explosión, no resulta insólito encontrar que una misma fábrica utilice indistintamente uno u otro equipo en una misma serie de motores de iguales características. Por esta razón también resulta muy necesario estudiar la estructura y diseño de las bombas rotativas BOSCH que presentan variantes de importancia con respecto a lo que hemos estudiado de las bombas CAV. Pasemos pues, a realizar este estudio.

Bomba rotativa BOSCH, tipo EP/VA

La casa BOSCH no es solamente la casa más importante del mundo de fabricación de bombas de inyección en línea sino que en el terreno de estos diseños industriales figura a la cabeza de cuanto de nuevo se estudia y aplica en la tecnología de este tipo en el mundo. También en las bombas rotativas ha creado sus propios diseños que resulta de todo punto necesario conocer ya que obtienen una aplicación muy amplia por parte de los constructores de motores Diesel para automóvil, de modo que marcas como RENAULT, OPEL, FIAT-SOFIM, MITSUBISHI, y otros muchos equipan sus motores con bombas de esta marca alemana o de sus filiales a través del mundo.

Entre las bombas de esta marca y de tipo rotativo que se aplican a los motores ligeros actuales hay que destacar los modelos EP/VA, del que vamos a ocuparnos de inmediato, y el VE, al que dedicaremos también una parte final de esta descripción general de bombas rotativas. Por el momento empecemos por el primer modelo.

En la figura 16 se puede ver la vista exterior de una bomba rotativa BOSCH, modelo EP/VA. En esta figura se puede apreciar, en *a*, las salidas de las tomas que van a los inyectores: se trata pues de una bomba para alimentar cuatro cilindros. En *b* tenemos la entrada de combustible a la bomba, mientras en *c* se encuentra la salida del combustible sobrante para la purga. También podemos ver los mandos principales que son, en *f*, la palanca de mando o aceleración, mientras en *g* se encuentra la palanca de paro.

La disposición interior de esta bomba se encuentra dibujada en la figura 17. Antes de pasar a la descripción de las diferentes partes de que consta debemos recordar que el principio de funcionamiento de las bombas rotativas BOSCH lo dimos en el texto de comentario de la figura 5 de este capítulo y que es preciso recordar para entender bien lo que sigue.

A continuación vamos a pasar al estudio de esta bomba dividiendo su descripción en las dos siguientes partes:

- Parte mecánica
- Parte hidráulica

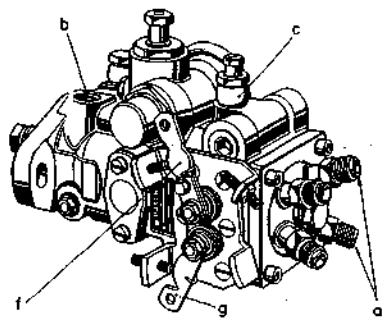


Figura 16. Vista exterior de una bomba rotativa BOSCH del tipo EP/VA. a, salidas a los inyectores. b, alimentación. c, sobrante de purga. f, palanca de mando con topes de máxima y mínima. g, palanca de paro.

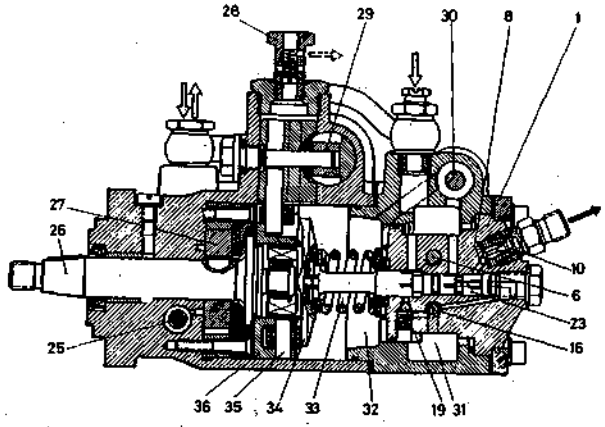


Figura 17. Vista interior seccionada de los elementos que componen la bomba de inyección rotativa de la figura anterior. 1, cuerpo distribuidor. 6, distribuidor de estrangulamiento de regulación. 8, orificio de salida. 10, válvula de impulsión. 16, corredera de regulación del caudal. 19, válvula antirretorno. 23, émbolo rotor. 25, válvula de regulación. 26, árbol de accionamiento. 27, bomba de alimentación. 28, válvula de descarga. 29, avance automático. 30, acumulador. 31, cámara de aspiración. 32, cámara interior de la bomba. 33, muelle de retorno. 34, disco de leva. 35, rodillo. 36, disco portarrodillos.

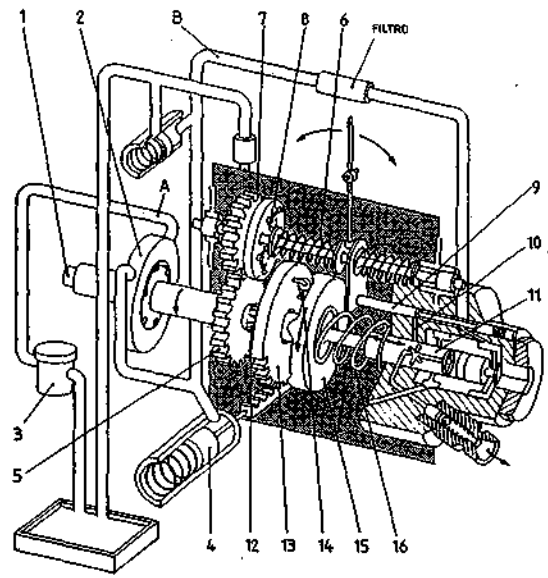


Figura 18. Esquema del funcionamiento de la parte mecánica de una bomba rotativa del tipo BOSCH.

Parte mecánica

Constituye la parte más sencilla de comprender y, por otra parte, la básica para conocer el funcionamiento que veremos después del circuito hidráulico. Un esquema muy simplificado del funcionamiento general de estas bombas que resulta típico de toda la familia V de la casa BOSCH lo tenemos en la figura 18. Nos interesa destacar la parte mecánica aun cuando aquí también se ha dibujado en parte la hidráulica, pero vamos a centrarnos en la disposición de los ejes y de su forma de actuar.

En 1 nos encontramos con el eje rotor que arrastra en primer lugar a una bomba de paletas (2) encargada, como en el caso de las bombas CAV, de proporcionar la presión general en el interior de la bomba y de sus circuitos. Así vemos que el combustible procedente del depósito llega a ella por A, después de haber pasado el filtro general (3). El gasóleo es bombeado por esta bomba

de paletas hasta una válvula de regulación del avance (4) y al mismo tiempo, a través del conducto B, a la zona delantera de la bomba en la que se halla la cabeza hidráulica que será objeto de un estudio aparte.

Volviendo a la parte mecánica tenemos que el eje (1) arrastra a continuación una rueda dentada (5) que constituye el piñón de accionamiento del regulador (6) el cual recibe el movimiento a través de la rueda dentada (7) y arrastra un eje provisto de masas centrífugas (8) con un funcionamiento de regulador mecánico fácilmente comprensible con solo ver la figura y después de lo que sobre este tema hemos tenido ocasión de estudiar. Señalemos, no obstante, y para evitar dudas, que la válvula de dosificación (9) es la que regula la entrada del combustible al pistón inyector (11) a través del conducto de alimentación (10).

Después del piñón de accionamiento (5) nos encontramos que el eje lleva brochadas unas estrías (12) para permitir que el resto del eje pueda tener, además del movimiento de rotación propio, un segundo movimiento en sentido axial que resulta básico para el funcionamiento del pistón inyector (11) como vamos a ver muy pronto. Seguidamente nos encontramos con un platillo de avance automático (13) portador de un juego de rodillos (14) que se aplican sobre la superficie lobulada de la leva (15) a la que se halla sujeto ya el pistón inyector (11). De este modo tenemos que el citado pistón inyector tiene, tal como indican las flechas que se han dibujado sobre él, dos tipos de movimiento que se producen de una manera combinada: por una parte está sujeto al giro del eje (1) que establece una rotación sobre sí mismo; pero cuando la leva (14) llega a cada uno de los lóbulos frente a los rodillos produce a su vez un salto que impulsa el pistón en sentido axial, salto que corresponde precisamente al momento de la inyección. El muelle (16) es el encargado de asegurar el retorno de la leva a su posición de PMI cuando rodillo y lóbulo no coinciden.

Este es, en líneas muy generales, el principio de funcionamiento de la parte mecánica de estas bombas rotativas. Insistimos en la necesidad de recordar, cuando hablemos de la parte hidráulica, que el pistón inyector está dotado de los dos movimientos de rotación y axial que hemos descrito porque ello nos facilitará la comprensión del complicado circuito hidráulico a que estas bombas dan lugar.

También veremos más adelante que en los modelos modernos el regulador adopta otros sistemas que ya se describirán. Pasemos a ver la parte hidráulica y su forma de funcionar.

Parte hidráulica

En la figura 19 tenemos un esquema del funcionamiento hidráulico de una bomba rotativa BOSCH del tipo EP/VA. Este esquema se corresponde con la figura 17 que vimos anteriormente. Cabe destacar la presencia de la bomba de paletas (27) como productora de la presión necesaria para el funcionamiento de todos los circuitos. La llegada del combustible procedente del filtro general (39) sigue, a la salida, dos caminos: uno que va hasta una cámara anular de aspiración (31) que forma parte de la llamada cabeza hidráulica de la bomba, y otra que la conduce hasta el cilindro corrector de avance (29) que es el encargado de establecer los movimientos necesarios para que se produzca el correcto avance automático de la inyección. Es importante destacar la presencia de la válvula de regulación (25) por medio de la cual se consigue mantener una modulación de la presión de alimentación dentro de los circuitos de la bomba. Esta válvula, a base de un émbolo desplazable en el interior de un cilindro, puede abrir parcial o totalmente un circuito de by-pass de modo que la presión puede mantenerse en valores que oscilan entre 1 a 8 kg/cm^2 según la velocidad de giro de la bomba de paletas.

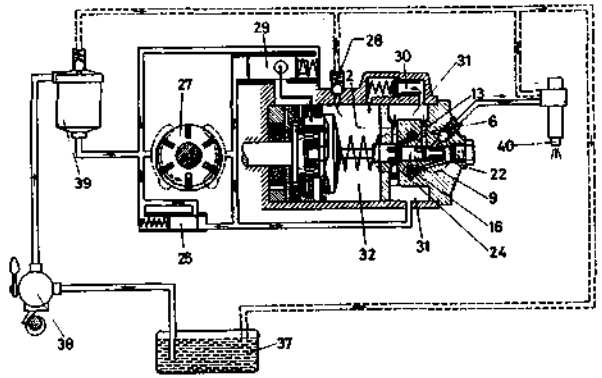


Figura 19. Esquema de los circuitos hidráulicos propios de las bombas rotativas BOSCH del tipo EP/VA. 2 y 13, orificios de admisión. 6, distribuidor de estrangulamiento de regulación. 9, bomba de alta presión. 16, corredera de regulación del caudal. 22, émbolo rotor distribuidor. 24, bomba del circuito de regulación. 25, válvula de regulación. 27, bomba de alimentación de paletas. 28, válvula de descarga. 29, avance automático. 30, acumulador. 31, cámara de aspiración. 32, cámara interior de la bomba. 37, depósito. 38, bomba auxiliar exterior. 39, filtro. 40, inyector.

La cabeza hidráulica

El punto culminante del circuito hidráulico se encuentra, por supuesto, en todos aquellos canales y conductos que son regidos por el pistón inyector y los elementos anexos a él, es decir, lo que constituye la *cabeza hidráulica*

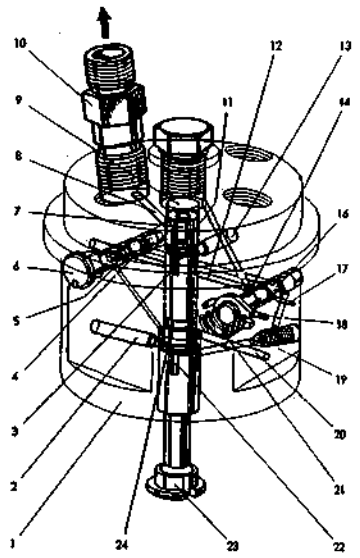


Figura 20. Esquema de la disposición de la cabeza hidráulica. 1, cuerpo. 2, orificio de admisión del circuito de regulación. 3, ranura de admisión. 4, sección de compensación. 5, sección de estrangulamiento. 6, distribuidor de estrangulamiento de regulación. 7, ranura de distribución. 8, salida. 9, cámara de presión. 10, racor. 11, garganta circular. 12, orificio de compensación. 13, orificio de admisión del circuito de alta presión. 14, ranura de paro. 16, corredera de regulación del caudal inyectado. 17, orificio de derivación. 21, muelle de regulación. 22, ranura de mando. 23, pistón inyector. 24, garganta circular.

representada en la figura 19 por todos los elementos que hay alrededor de la cámara anular de aspiración (31). Un estudio con cierto detenimiento de todos los circuitos que rodean esta parte es lo que puede proporcionarnos un conocimiento de la parte hidráulica más fundamental del sistema y también del funcionamiento general de la bomba.

Un acercamiento a la disposición de todos estos circuitos componentes de la cabeza hidráulica lo podemos hacer por medio de la figura 20. Aquí se ha dibujado la situación real de los conductos, junto con sus válvulas, en la misma posición que ocupan en la realidad. Para centrarnos en la comprensión de estas figuras con respecto a lo que hemos visto y explicado con anterioridad digamos que en 23 nos encontramos con el pistón inyector rotante y con movimiento axial como sabemos. En 16 se presenta la forma práctica que

adopta la *válvula corredera de regulación* del caudal inyectado, la cual va provista de su muelle de empuje y regulación (21). Por otra parte tenemos el mecanismo del distribuidor de estrangulamiento (6) que está regido por el pedal acelerador y determina la entrada de caudal al interior de la cámara anular que vimos en 31 de la figura anterior, número 19. Por último, tenemos el conducto (8) de salida del combustible a la presión de inyección y que, a través de la unión por racor (10) al tubo de impulsión correspondiente mandará el combustible al inyector de la cámara de combustión del motor. Estos cuatro elementos fundamentales conforman el funcionamiento hidráuliuco de la bomba en lo que respecta a su cabeza y vamos a estudiarlos por separado en sucesivas figuras que nos van a mostrar las diferentes posiciones que adopten todas estas válvulas y circuitos según el momento en que se encuentre su ciclo de funcionamiento y los requerimientos que le condicionen desde los puntos de mando.

Por esta razón vamos a valernos de una figura que si bien no guarda relación con la realidad en cuanto a la disposición de los elementos dibujados nos permite ordenar de una manera clara para la mejor comprensión la forma como se van a producir los diferentes estados de funcionamiento de la cabeza hidráulica. Veamos a este respecto la figura 21. Aquí se puede comprobar la disposición de una manera lógica y fácil para la comprensión del funcionamiento que se va a describir. En primer lugar nos encontramos con el pistón inyector (23) que dispone de dos diámetros y que en su zona más alta está provisto de un orificio central con salidas laterales, tal como se ve en la parte seccionada de la cabeza del pistón. Este pistón se desliza en su cilindro de una manera rotante y de desplazamiento axial como ya se ha dicho en otras ocasiones. Por otra parte tenemos la cámara anular de aspiración (31) que es donde llega el caudal conveniente de combustible mandado por la bomba de paletas. Dado el hecho de que el pistón dispone de estas dos secciones de diferente diámetro puede interpretarse como que realiza dos misiones: por una parte, en la cabeza superior (9) actúa como un pistón de las bombas en línea, es decir, a alta presión, mientras en la zona de la cabeza inferior (24) realiza la función de una bomba auxiliar de regulación que obtiene una presión intermedia para los otros circuitos con los que está en contacto.

Ahora vayamos a ver el comportamiento del líquido durante la situación presentada en la figura 21 que corresponde a un primer tiempo de admisión del combustible. Recordemos que éste se encuentra a buena presión en la cámara anular (31). Tal como se encuentra colocado el eje o pistón inyector (23) vemos que el combustible solamente puede pasar por el conducto de admisión (13) a la cámara de alta presión y por el conducto (2) de admisión al circuito de regulación. Efectivamente, todas las demás salidas se encuentran cerradas: El orificio de derivación (18) está tapado por la corredera (16), y lo mismo ocurre con el orificio (20). Se produce pues el llenado. En este momento el pistón inyector se encuentra en su PMI de su movimiento axial.

A continuación el pistón inicia su carrera ascendente hacia su PMS. Esta situación es la que se presenta ahora en la figura 22. Comparando esta figura con la anterior se puede ver que el pistón inyector ha subido a la vez que ha

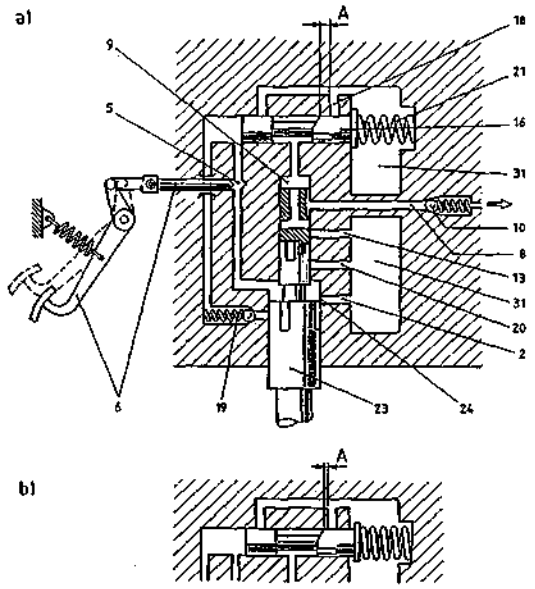


Figura 21. Situación de la cabeza hidráulica durante la admisión. El pistón inyector (23) se encuentra en su posición de PMI. En (a) tenemos la posición de la corredera (16) para plena carga, mientras en (b) tenemos la posición de carga parcial.

girado sobre sí mismo. Con ello, en la zona alta donde se encuentra la parte que constituye la bomba de alta presión (9) se produce un aumento muy considerable del valor de ésta que por una parte escapa a través de la ranura (7) encaminando el combustible a través del conducto de salida de la inyección (8) a atravesar la válvula de antirretorno (10) que lo conduce hasta el inyector. Parte de la presión de la cámara se transfiere también a la corredera (16) que, como veremos más adelante actuará en la fase final de inyección que en esta figura todavía no se ha consumado totalmente pues el pistón no ha llegado todavía a su PMS.

Antes de continuar será conveniente observar también qué es lo que está ocurriendo en la parte baja del pistón. Vimos en la figura 21 que por el conducto de entrada de combustible (2) al circuito de regulación podía también entrar combustible a través de la garganta (24). Pero en la figura 22 vemos

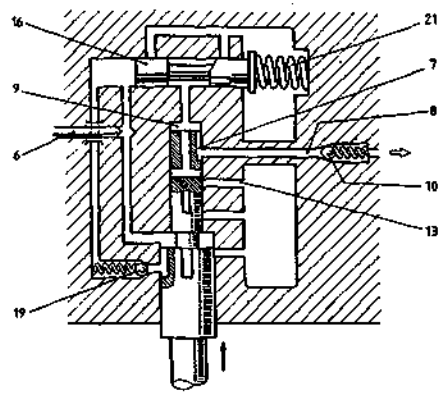


Figura 22. El pistón inyector ha sufrido un giro y ha avanzado en su carrera de ascenso axial: es el tiempo de inyección. 7, ranura de distribución en la cabeza del pistón inyector. 8, conducto de salida de la inyección. 10, válvula de impulsión. 13, orificio de admisión del circuito de alta presión.

que este conducto se ha cerrado con el movimiento no sólo axial del pistón sino también rotatorio. El combustible que ha quedado en esta cámara va a sufrir forzosamente un impulso de sobrepresión a medida que el pistón asciende, sobrepresión que no será, por supuesto, del mismo elevado valor que la presión de inyección de la parte alta (9) pero que sí contendrá un valor intermedio. Esta presión que podemos llamar *intermedia* pasa a la cara frontal de la corredera (16) ocasionándole un empuje en dirección contraria al esfuerzo del muelle de regulación (21) que efectúa una acción antagonista de regulación de la posición de la válvula corredera (16). Para ello puede utilizar dos circuitos que son: el de la válvula antirretorno (19) y también el circuito que el distribuidor de estrangulamiento de regulación (6) le ofrece de acuerdo con la voluntad del conductor. La posición de la válvula de estrangulación modula la presión que se efectúa sobre la parte frontal de la válvula corredera.

Con esto pasamos ya a la figura 23 en la que el pistón inyector llega a su posición máxima de PMS y en la que se representa el estado de fin de la inyección. La presión intermedia aumenta a su valor máximo y desplaza la corredera (16) hasta la posición de descarga. Es el momento en que se abre el orificio (18) y se pone en comunicación la cámara de alta presión (9) con la cámara anular de aspiración (31) por lo que se produce una fuerte y rápida caída de presión en el interior de la cámara de alta presión y la inyección se puede interrumpir de una manera brusca.

Siempre que el pistón gira se encuentra en las mismas condiciones y se repite este ciclo de una manera constante durante el funcionamiento de esta bomba; pero quedan por aclarar algunos puntos de la mayor importancia y sobre todo los que respectan al dosado del combustible o cantidad que hay

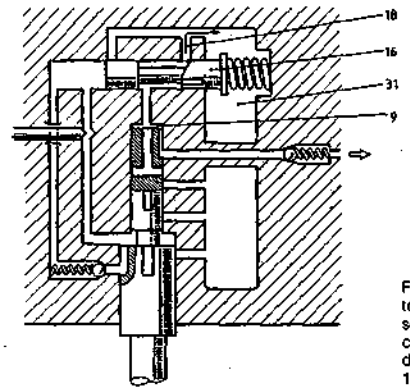


Figura 23. Final de la inyección. El pistón ha llegado a su PMS y la cámara (9) se comunica por el orificio (18) con la cámara de aspiración anular (31) al desplazarse la corredera 16. La válvula 19 se cierra.

que aportar en cada momento al motor que, como sabemos muy bien, debe ser variable según las necesidades de marcha que se presenten. Vayamos pues a ver cómo se produce el dosado, y para ello volvamos a la figura 21 que será la que más fácilmente puede darnos una idea de este dispositivo. Como se ha visto el fin del momento de la inyección no depende del PMS del pistón inyector sino de la posición de la válvula corredera (16) la cual se mueve entre la fuerza antagonista de su muelle (21) y del valor de la presión intermedia que existe en el circuito de regulación. El valor de esta presión intermedia es siempre superior al valor de alimentación normal proporcionado por la bomba de paletas y que es el valor que existe en la cámara anular (31) de modo que cuando el pistón inyector desciende en busca de su PMI descubre el orificio de admisión (2) y la sobrepresión del circuito de regulación se transfiere a la cámara (31) evacuando líquido de su circuito hacia ella por medio de este orificio. Si la posición del distribuidor de estrangulamiento (6) se encuentra del modo que se ve en la figura 21, es decir, completamente abierto la descarga es muy rápida porque el líquido no se encuentra obturado y puede fluir sin dificultad a través de este paso; pero si la posición de la sección de estrangulamiento (5) resulta muy pequeña porque la válvula (6) la cierra (situación en la que el pedal del acelerador está casi en su posición de reposo) la descarga de la presión intermedia queda muy dificultada porque el líquido no dispone del tiempo suficiente para evacuarse por el orificio de retorno (2). Como quiera que por el conducto (19) no hay posibilidad de que el líquido regrese por la presencia de la válvula antirretorno (19) todo el circuito regulador se mantiene a una presión elevada que impide que la válvula corredera (16) regrese a su posición de reposo proporcionada por el muelle de regulación

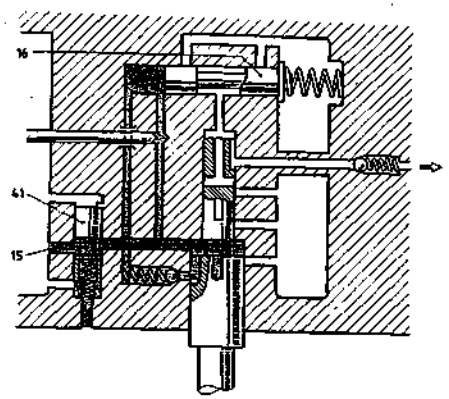


Figura 24. Mecanismo para el reglaje automático del caudal de arranque.

(21). La proximidad de la válvula corredera y de su rampa de descarga al orificio de descarga (18), en las condiciones como está señalado en *a* de la figura 21, determinan la duración de la inyección que resulta tanto más corta cuanto mayor es la presión intermedia del circuito regulador, la cual depende, como hemos visto, de la posición de la válvula de estrangulación. Puede llegar un momento en que se establezca un verdadero tope líquido cuando el motor gira a una velocidad constante que actúa como un auto-regulador muy sensible para mantener la dosificación más adecuada de acuerdo con la velocidad propuesta. Si, en algún momento, la velocidad del motor aumenta por una menor carga durante la marcha, el pistón inyector aumenta también su giro con lo que la sobrepresión intermedia aumenta lo suficiente para reducir la carrera válida de inyección del pistón, y reducir con ello el caudal de combustible enviado al inyector. De modo inverso, si el motor cae de vueltas, la presión disminuirá, por lo que la corredera aumentará su carrera de descarga y el motor recibirá así más combustible en cada inyección. Se está produciendo aquí un efecto de regulador hidráulico perfectamente definido.

También forman parte de la cabeza hidráulica otros mecanismos de este tipo cuyo conocimiento es conveniente. Uno de ellos es el reglaje automático del caudal de arranque que resulta necesario para atender a los momentos de puesta en marcha del motor. Las bombas BOSCH del tipo EP/VA disponen de un circuito suplementario que puede derivar la presión intermedia en el momento del arranque para conseguir una máxima aportación de combustible en las inyecciones del arranque. Este circuito se puede ver también representado en la figura 24 señalado en 15. El émbolo (41) se levanta para conseguir la posición de arranque. En este momento la presión intermedia escapa del

circuito regulador y vuelve a la cámara anular de alimentación por lo que la corredera (16) no recibe ninguna clase de sobrepresión y se mantiene en posición de inyección máxima. En cuanto el motor arranca, el émbolo (41) se cierra y se restablece la situación inicial de marcha que se ha descrito.

En cuanto a la posición de paro se efectúa por medio de una palanca que coloque la válvula corredera (16) en posición enfrentada a su orificio de descarga de modo que toda la presión de inyección puede escapar siempre por este orificio. En estas condiciones, aunque la bomba está en funcionamiento, no inyecta combustible a los canales de los inyectores por lo que el motor falto de alimentación, se para.

Para finalizar ya esta descripción de la cabeza hidráulica solamente nos queda por describir el funcionamiento de dispositivo llamado *acumulador* que tuvimos la ocasión de ver en la pasada figura 19. Su función es la siguiente: Para que el regulador pueda funcionar correctamente del modo que hemos descrito es preciso que la presión de alimentación a que se encuentre la cámara anular (31) sea relativamente estable, pues de otro modo el regreso de la sobrepresión intermedia que reina en los conductos del regulador sufriría unas variaciones que afectarían al funcionamiento de la válvula corredera. Para ello se dispone del acumulador (30) que consiste en una cápsula con muelle antagonista calibrado que tiene la facultad de aumentar el volumen de la cámara anular cuando la presión aumenta de ciertos límites, de modo que con este aumento de volumen la presión queda rebajada. Incluso si esta presión fuera excesiva, la válvula puede colocar en cortocircuito el líquido contenido en la cámara anular proporcionando una salida al combustible por el orificio que se indica con unas flechas en la figura. De este modo el valor de la presión se mantiene estable.

Con esto se da por acabada la explicación esquemática del funcionamiento hidráulico de la cabeza de esta bomba de inyección rotativa.

Corrector de avance automático

El avance automático también se consigue con un dispositivo hidráulico en combinación con otro mecánico que acciona sobre el plato porta-rodillos de modo que lo desplaza con respecto al platillo lobulado de la leva unos grados, con los que se establece el avance de la inyección de una forma automática. Para conseguir este objetivo se dispone de un cilindro dentro del cual se halla un émbolo (29, en la figura 19) que se equilibra de acuerdo con la presión que recibe procedente de la bomba de paletas (27) y de un muelle antagonista calibrado que se encuentra en la parte opuesta. Cuanto mayor es la velocidad de giro del motor mayor es también la velocidad de giro de la bomba de paletas y ello será proporcional a la presión que recibirá el émbolo 29 por su cara de alimentación por lo que su desplazamiento en dirección contraria a la posición de su muelle antagonista también será proporcional.

El aprovechamiento de esta condición se lleva a cabo haciendo al émbolo solidario de una palanca que desplazará la posición relativa del plato porta-rodillos con respecto a la leva. En la figura 19 se ha dibujado el avance automático en una posición falsa con el fin de que pudiera apreciarse el esquema de su funcionamiento, pero en la realidad está dispuesto transversalmente, tal como muestra con mayor propiedad (pero menor claridad) la figura 17, señalado allí también con el número 29. Desde un tope anclado en el plato porta-rodillos el juego de palancas puede modificar la posición relativa de éste y establecer el avance automático.

Con esto damos por terminada la descripción de esta bomba rotativa. Pasaremos, acto seguido, a hacer una descripción de la bomba de la misma marca modelo EP/VE, provista de regulador mecánico, que es muy utilizada en los motores Diesel de los automóviles y presenta algunas variantes de consideración que veremos muy pronto.

Bomba rotativa BOSCH, tipo EP/VE

El modelo que vamos a describir a continuación podemos encontrarlo en cualquiera de los modelos de la casa PEUGEOT, desde los motores del *604* hasta el *BX*. También la utilizan la RENAULT, la VOLKSWAGEN, la FIAT, la VOLVO y todas aquellas marcas que se nutren de motores ligeros Diesel para automóvil a partir de modelos básicos de motores de explosión. Resulta una bomba económica y muy efectiva que une a estas cualidades la de su poco peso en relación a las bombas en línea.

Básicamente el modelo EP/VE comporta un funcionamiento similar al descrito para la serie de bombas VA, pero presenta algunas variaciones en el hecho de estar provista de regulador mecánico centrífugo. Vamos a estudiar las diferencias entre ambos modelos.

En la figura 25 tenemos un esquema general de una bomba rotativa del tipo VE. Observando con atención este esquema y después de haber estudiado con toda atención el esquema de la figura 19 se puede apreciar que son muchos los mecanismos que guardan el mismo orden. Por ejemplo, la bomba de alimentación de paletas (3) está colocada en idéntica posición y también todo el resto de la parte mecánica conserva el diseño que es característico en las bombas rotativas de la casa BOSCH. Así podemos ver en 5, el platillo porta-rodillos que es regido, por la parte baja, con el variador automático de avance (7). El plato de perfil lobulado, o leva, está señalado con el número 6, y con 9 el pistón inyector y distribuidor cuya salida de inyección se puede ver en 10 por medio de una válvula de descarga que conducirá el combustible al propio inyector (15).

Lo que vamos a estudiar en este momento va a ser la zona dibujada en la parte alta de la figura que es donde se encuentra, en este sistema, el regulador mecánico. Como puede apreciarse, la rueda dentada (4) actúa sobre el piñón (22) desde el que se acciona el eje del regulador. La pieza fundamental de este sistema es el collar dosificador (8) que puede desplazarse a derecha o izquierda produciendo con ello una fuga de combustible que determina la cantidad de éste que se mandará al inyector (15) a través del pistón inyector.

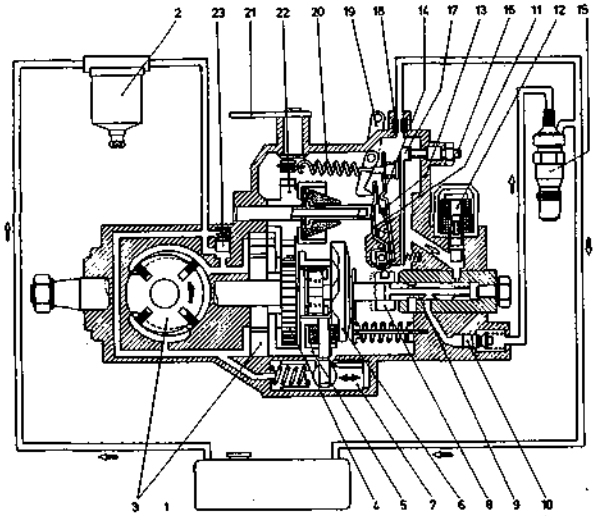


Figura 25. Esquema de la composición de una bomba rotativa de la marca BOSCH, modelo EP/VE. 1, depósito de combustible. 2, filtro. 3, bomba de alimentación. 4, piñón de accionamiento del regulador mecánico. 5, guía y rodillos de empuje del pistón. 6, leva axial giratoria. 7, variador automático de avance. 8, collar dosificador. 9, pistón inyector. 10, válvulva de descarga. 11, palanca de arranque. 12, mando eléctrico de parada. 13, tope de carga. 14, palanca reguladora. 15, inyector. 16, ajuste de carga. 17, palanca. 18, sobrante y purga. 19, mando de paro. 20, muelle del regulador. 21, acelerador. 22, piñón de arrastre del regulador. 23, válvula reguladora de alimentación.

Como quiera que es de la máxima importancia conocer bien el funcionamiento que se adopta en este caso por parte del pistón inyector, vamos a estudiarlo previamente para hacer más fácil la comprensión del funcionamiento del regulador.

En la figura 26 tenemos tres estados de dosificación diferentes provocados por la posición del collar dosificador (8). Veamos la primera de las posiciones que corresponde a la posición de marcha en vacío. El combustible, procedente de la bomba de paletas entra en la cámara del pistón inyector (1) a través del conducto de alimentación (2) y atraviesa la ranura del pistón (3) hasta inundar la cámara (4) y todos los conductos interiores del pistón que se halla en PMI. Cuando el pistón inyector comienza a ascender producirá una

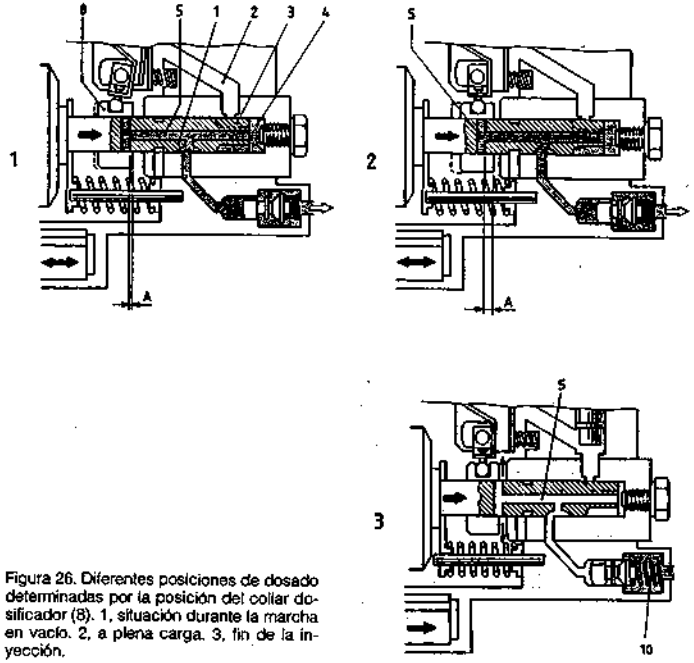


Figura 26. Diferentes posiciones de dosado determinadas por la posición del collar dosificador (8). 1, situación durante la marcha en vacío. 2, a plena carga. 3, fin de la inyección.

fuerte presión que durará solamente el tiempo en que el conducto de descarga (5) permanezca tapado por el collar dosificador (8), pues en cuanto se sobrepase este nivel se iniciará un rápido retorno del combustible al caudal que circula por el interior de la bomba siendo ya imposible continuar la inyección.

Así pues, podemos muy bien ver que la posición del collar dosificador (8) es la que determina el caudal del combustible inyectado y que viene representado en la figura que comentamos por la distancia A de tapado del conducto (5) de descarga.

Un segundo caso lo tenemos en el dibujo 2 de la figura 26, en donde se muestra la posición del collar dosificador más desplazado hacia la derecha por lo que se obtiene una carrera útil de inyección (A) mucho más larga debido

a que se tarda más tiempo en que los orificios de descarga (5) se hayan destapado, con la consiguiente caída en la presión general que existe en el interior del pistón inyector.

La situación de fin de la inyección se puede ver en el dibujo 3 de esta misma figura 26. En cuanto los orificios del conducto de descarga (5) superan la posición del collar dosificador, tal como las flechas indican, la inyección se da instantáneamente por terminada pues la presión desciende hasta el punto de que no tiene fuerza para vencer la presión de apertura de la válvula de descarga (10) de mando del combustible al inyector.

Conocido ya este funcionamiento del collar dosificador veamos cómo, en estas bombas, este collar es accionado para mandar a los inyectores el caudal necesario para el funcionamiento correcto del motor en cualquiera de los regímenes de giro seleccionados por el conductor. Este es el trabajo que lleva a cabo el regulador.

El regulador mecánico centrífugo

Toda la parte mecánica de este regulador puede verse en la anterior figura número 25. Veamos primero el funcionamiento de la parte centrífuga, lo que los técnicos de BOSCH llaman el mecanismo de *asimilación*, cuyo esquema se presenta ahora en la figura 27 y que presenta algunas particularidades muy originales con respecto a lo que sobre los reguladores centrífugos hemos estudiado en anteriores páginas. En primer lugar nos encontramos con las masas centrífugas (1) que, al ser arrastradas por el piñón (2) se abren por las puntas accionando el manguito deslizante (3) hacia la derecha. Este manguito se llama deslizante porque se desliza a través del tubo (4) que presenta la siguiente particularidad: Recibe por sus extremos dos tipos de presión que puede ser (y de hecho es) de diferentes valores. Por 5 recibe una presión de regulación que depende del régimen de giro del motor, mientras por la parte opuesta del manguito, por 6, recibe líquido a la presión general del interior de la bomba, la llamada presión de aspiración (P_a). En la punta de este manguito deslizante existe además un distribuidor interior concéntrico (9) que puede bascular hacia la derecha o hacia la izquierda según el equilibrio de fuerzas que se establezca entre la presión 5 y la 6. En su posición extrema de la izquierda, el distribuidor tapa el orificio de descarga (8) aun cuando las masas centrífugas lo destapen en virtud del deslizamiento proporcionado al manguito (3); pero si la presión de 5 es superior a la de 6, entonces el distribuidor (9) pasa a deslizarse hacia la derecha dejando abierto este orificio de descarga y cerrando, por el contrario, el 6.

De acuerdo con lo visto en este esquema, la posición del manguito asimilador (3) depende de las masas centrífugas pero puede ser modificado por la posición del distribuidor (9) y los valores de presión que reinen en el interior.

La posición del manguito deslizante actúa sobre la palanca reguladora (7) mediante la cual se modificará la posición del collar dosificador que vimos en la anterior figura 25. Este mecanismo de mando lo tenemos más claro y com-

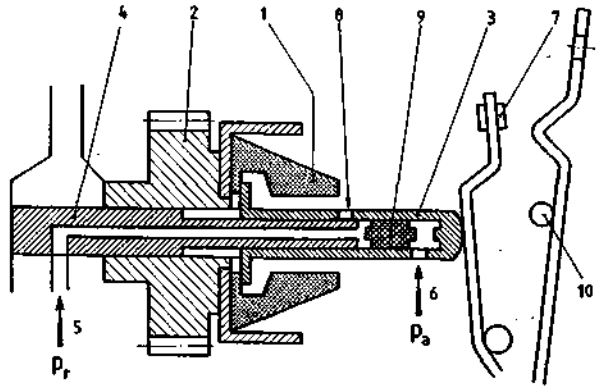


Figura 27. Mecanismo de asimilación de la bomba rotativa BOSCH, modelo EP/VE. 1, masas centrífugas. 2, piñón de arrastre. 3, manguito deslizante. 4, tubo soporte del manguito. 5, llegada de la presión de regulación. 6, presión de aspiración. 7, palanca reguladora. 8, orificio de descarga. 9, distribuidor. 10, tope de carga. Pr, presión de regulación. Pa, presión de aspiración.

pleto en la figura 28 y la explicación de su funcionamiento se tendrá que simultanear con el dibujo completo del dispositivo que se mostró en el esquema general de la figura 25. En esta figura vemos en 21 la palanca del acelerador que acciona el conductor para seleccionar un determinado régimen de giro. El movimiento de esta palanca se transmite a la palanca reguladora (14) a través del muelle calibrado intermediario (20). Esta es la situación que se muestra en la figura 28 y que ahora nos va a servir para la explicación del funcionamiento de este regulador. Cuando el pedal de aceleración se aprieta, el muelle (20) tira (hacia la izquierda de la figura) del muelle de marcha en vacío (24), el cual, al comprimirse, arrastra la palanca reguladora (14) hasta la posición determinada del collar dosificador que se gobierna por medio de la rótula de dosado (8). En esta figura se indican la posición de máximo y mínimo caudal de combustible por el máximo o mínimo recorrido del collar dosificador.

Mantenida fija una posición cualquiera por medio del pedal acelerador comienza a funcionar el regulador con su misión estabilizadora. La doble flecha que indica «regulación» en la figura es el lugar al que se aplica el manguito deslizante. En cuanto el motor tiende a embalarse aumenta su régimen de giro y con ello las masas centrífugas se abren más, a lo que se une la mayor presión de regulación que el manguito deslizante recibe. En su consecuencia acciona sobre la palanca (11) hacia la derecha de la figura y hasta que toma

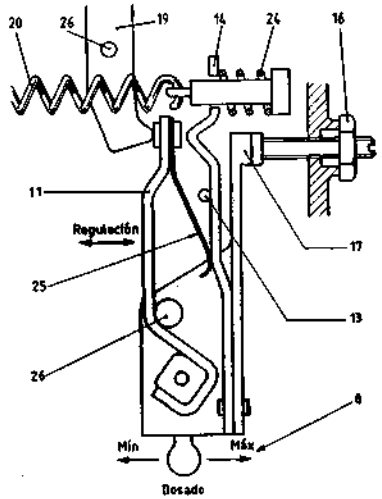


Figura 28. Mecanismo de mando del regulador sobre el collar de dosado. 8, rótula de dosado. 11, palanca de arranque. 13, tope de carga. 14, palanca reguladora. 16, ajuste de carga. 17, palanca de ajuste. 19, mando de paro. 20, muelle regulador. 24, muelle de ralentí. 25, muelle sobrecaudal. 26, punto de oscilación.

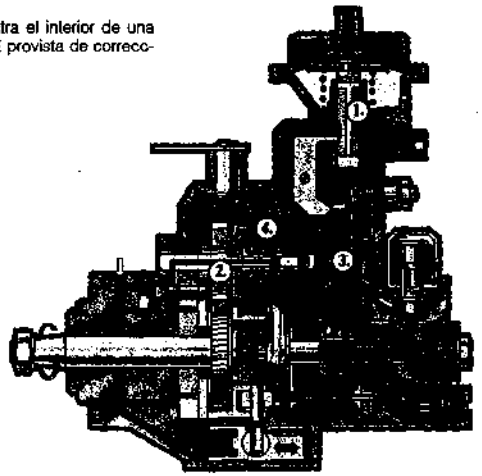
contacto con la palanca de regulación (14) y tiende a rebajar ligeramente el caudal mandado al inyector. Si, por el contrario, el motor pierde vueltas, la forma de actuar se efectúa al contrario, es decir, la palanca (11) se retira de su presión sobre la palanca (14) ya que recibe menor presión por parte del regulador al disminuir su régimen de giro y también la presión de regulación del manguito deslizante. Esta oscilación viene a representar fielmente el equilibrio de las fuerzas que el regulador precisa para su buen funcionamiento.

Como ocurre en todas las bombas de inyección, aquí también hay que resolver los casos especiales tales como el sobrecaudal en el momento del arranque, el mantenimiento de la marcha en vacío y el sistema de paro. Estas tres funciones están previstas en el regulador en cuestión. La primera, el arranque, está previsto por medio del muelle de lámina (25) que en posición de arranque empuja hacia la obtención de un sobrecaudal al conjunto de mando del collar dosificador. Con el motor parado, el regulador no gira, y sus masas están en reposo. Tampoco gira la bomba de paletas y no hay presión en el distribuidor del manguito que el muelle regulador (20) lleva a su mínima longitud. Pues bien: en estas condiciones, al liberar (19) para arrancar, el muelle (25) es capaz de mantener separadas las dos láminas de la palanca reguladora (11 y 14) porque no ha de vencer la fuerza de servoasistencia que aún no existe y lleva el dosado hacia la derecha, incluso más allá que su posición de máximo porque el tope de carga (13) no interviene.

La posición de marcha en vacío queda regulada por la intervención del muelle (24) que interviene solamente cuando la fuerza centrífuga es muy baja como consecuencia de la marcha a ralentí. En cuanto a la situación de paro o stop se lleva a cabo por medio de la palanca de paro (16) —es la misma que hemos señalado con el número 19 en la figura 25— que oscila desde el punto 26. Empujando esta palanca hacia la derecha en su parte baja hace oscilar el dispositivo de mando del regulador sobre el punto de oscilación (26) colocando el collar dosificador en su posición de descarga constante o mínimo con lo que el motor se para. También contribuye a ello el funcionamiento de una electroválvula colocada en el circuito de alimentación del pistón inyector que puede obturar por completo este circuito. Este procedimiento puede verse también en la figura 25 con detalle. La electroválvula (12) cuando la corriente circula por su electroimán mantiene levantado su pistón de obturación y el combustible puede circular libremente por el conducto. Cuando se corta el paso de la corriente, el electroimán no interviene y la válvula cierra el paso al combustible. Por este sistema se permite que la llave de contacto del automóvil ejerza la misma función que lleva a cabo en el circuito de encendido de los motores de explosión y cumpla con su función primaria de antirrobo. En estos motores Diesel ligeros dotados con este sistema el motor no puede ponerse en marcha si previamente no se ha levantado el pistón de la electroválvula y para ello se precisa alimentarlo de corriente que una llave como de contacto controla.

Estas bombas también se preparan para los motores Diesel sobrealimentados con la introducción de un corrector de altura y de humos que mejora el rendimiento del motor en algunos estadios de su funcionamiento. En la figura 29 se muestra al lector la vista seccionada de una de estas bombas de la serie VE, cuyo interior nos es ya conocido, pero provista esta vez de cápsulas de corrector (1). En esta figura se pueden identificar fácilmente el cilindro asimilador (2) así como el conjunto del dispositivo dosificador de mando (3) y el regulador mecánico centrífugo (4). El conjunto del corrector funciona de la forma que se va a explicar con la ayuda de la nueva figura 30. La presión atmosférica llega a P_A mediante un tubo que suele tomar el aire en el colector de aspiración del motor. Esta presión llena la cámara (1) cerrada por una membrana elástica (2) y se mantiene en una posición de equilibrio gracias al muelle antagonista (7). Esta posición de equilibrio es distinta para cada valor de P_A, lo que hace que el vástago o leva cilíndrica (4) quede más alto o más bajo. Con ello el balancín (5) pone un tope adicional, más o menos generoso, a la palanca reguladora (6) que es la misma que hemos señalado con el número 14 en las pasadas figuras 25 y 28. Este mecanismo no permite el dosado máximo en los momentos en que, por estar el motor acelerándose, hay depresión en el colector de aspiración. En un motor sobrealimentado no es la carga la

Figura 29. Dibujo que muestra el interior de una bomba BOSCH, modelo EP/VE provista de corrector (1).



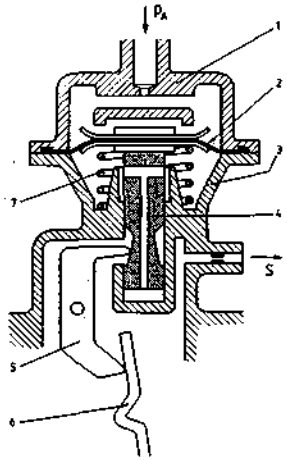


Figura 30. Esquema del funcionamiento de una válvula correctora. P_A, presión de alimentación de aire en la aspiración del motor. S, retorno de sobrantes. 1, cámara de aire. 2, membrana. 3, cámara del muelle. 4, leva cilíndrica. 5, palanca limitadora. 6, palanca reguladora.

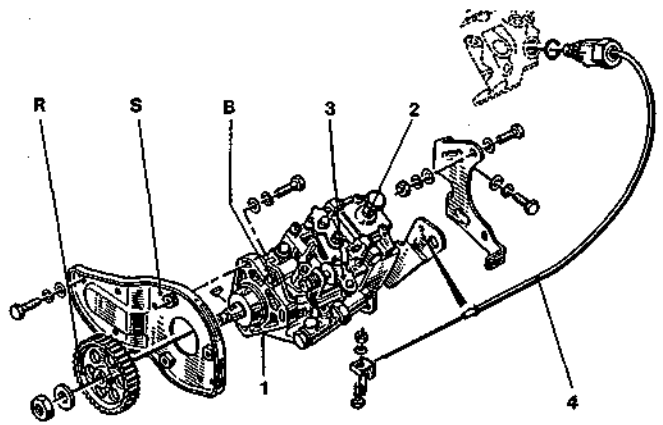


Figura 31. Bomba de inyección rotativa, del tipo BOSCH descrito, utilizada en un motor Diesel rápido de automóvil.

que provoca falta de aire, sino las velocidades bajas, que no dan a la turbina gases suficientes para acelerar el compresor de aire. Por esta razón se producen bufidos de humo en los acelerones que son temibles y para los cuales estas cápsulas sirven de protección.

Con esto damos por acabada la descripción de estas bombas rotativas de la marca BOSCH que tienen un campo de utilización muy amplio. En la figura 31 se puede ver un dibujo que muestra un equipo de inyección BOSCH, del tipo VE con la que salen equipados de fábrica muchos motores de la marca RENAULT modelo F8M, de 1.595 cm^3. Aquí nos encontramos con el soporte de la bomba (S). En el extremo de arrastre tenemos la rueda de arrastre (R) mediante la cual se le dará a la bomba (B) el movimiento primario que determinará el funcionamiento de todos los circuitos que hemos visto existen en su interior. En esta figura se ven los órganos de mando de la bomba y de entrada del combustible para identificarlos en la realidad.

La entrada de combustible se efectúa a través del tubo (1) y la salida del combustible sobrante o de rebose sale de la bomba por medio del tubo (2) que devuelve el combustible al depósito. En 3 tenemos la palanca que hace de acelerador y que va unida a la rótula de articulación de la palanca de mando. Finalmente tenemos en 4 el mando del arranque en frío en cuyo extremo se encuentra la brida de reglaje para el ajuste de este mando.

Conclusión

Con esto acabamos ya el estudio de las bombas rotativas, sobre las que nos veremos obligados a volver a hablar cuando tratemos de la puesta a punto de ellas en su aplicación a los motores concretos a los que van aplicadas. Antes de llegar a este punto, sin embargo, nos será necesario conocer el último de los elementos que forman el circuito de inyección de estos equipos, es decir, el inyector; y a este tema vamos a dedicar el capítulo siguiente.

7

INYECTORES Y CIRCUITO DE ALIMENTACION

Ahora van a ser estudiados los últimos elementos que componen el circuito de inyección: nos referimos a los inyectores y al circuito de alimentación del que hay que destacar, por su importancia, la bomba de alimentación y los filtros del combustible. Después de lo estudiado hasta aquí sobre los órganos más principales de la inyección, es decir, sobre las bombas y después de haber estudiado qué es y cómo se debe producir la combustión, parece que el tema de este capítulo puede ser ya un tema sencillo pues aquellos conocimientos nos han dado, de paso, con el planteamiento del problema, muchas de las posibles soluciones adoptadas. Sin embargo, veremos, en la próximas páginas, que también estos elementos han de cumplir condiciones muy estrictas y que conviene por ello no pasar su estudio a la ligera. Empecemos pues, por el estudio de los inyectores.

Inyectores

La misión del inyector puede definirse tan sencillamente como diciendo que es una válvula de retención, que solamente se abre a partir de unos valores de presión muy precisos y altos, en cuyo momento es capaz de introducir una cantidad determinada de combustible, enviada por la bomba, al interior de la cámara de combustión. En cuanto esta presión cesa, el inyector es una

válvula capaz de cerrar instantáneamente el paso de combustible. Esta es, sencillamente explicada, la misión y el trabajo que realizan los inyectores en el circuito.

Esta sencilla misión puede verse muy complicada cuando se trata de introducir este combustible a una gran velocidad, en una atmósfera de aire altamente comprimido y con unas temperaturas muy elevadas tanto antes como después de la combustión. En principio podríamos comparar al inyector con una bujía. En efecto: nada hay más sencillo que hacer saltar una chispa eléctrica de alta tensión entre dos electrodos muy próximos. Sin embargo, bien sabe cualquier mecánico que tenga experiencia en los motores de explosión los problemas que se originan en determinadas circunstancias y la importancia de que las bujías sean de la mejor calidad. En el caso de los inyectores los problemas son todavía mucho mayores porque debe resolver, de la mejor manera posible, los cinco siguientes puntos:

Pulverización. El combustible aportado debe entrar en la cámara lo más dividido posible en partículas muy pequeñas, porque ello facilitará de una manera muy importante de oxidación rápida de todo el caudal. Es lo que también se conoce con el nombre de atomización del combustible.
Distribución. El chorro de combustible pulverizado debe poseer la característica de poder distribuirse por el volumen de la cámara a todo lo largo y ancho de ella para permitir la mejor homogeneización de la mezcla y la mejor y más rápida oxidación general.
Penetración. La distancia que el combustible debe entrar en la cámara por medio del chorro o dardo proporcionado por el inyector debe ser muy precisa e independiente del caudal. Si la penetración resulta excesiva y tropieza contra las paredes de la cámara puede condensarse y dificultar su oxidación. Por el contrario, si es corta, la distribución puede ser muy lenta.
Corte de la inyección. El principio y el final de la inyección han de ser muy precisos y claros con un inicio súbito y un cese de la inyección instantáneo. No debe tener goteos ni fugas.
Temperatura. La punta de la tobera del inyector debe mantenerse por debajo de los 200 grados centígrados, por lo que en el interior del inyector se tendrá que prever una circulación suficiente de gasóleo que ejerza una cierta refrigeración para mantener la punta a temperaturas convenientes. Si éstas superan los 220 °C el combustible se descompone formando lacas y coques que se depositan en las piezas de asiento del inyector y lo deforman dando siempre malas combustiones por no poder atender a las condiciones que hemos expuesto más arriba.

Estas cinco condiciones fundamentales no son fáciles de lograr sin la aportación de una técnica de fabricación muy depurada y con tolerancias que se establecen en menos de una micra. Ello hace que los inyectores sean productos de alta tecnología de fabricación y justifica lo caros que son los equipos de inyección aunque desde el punto de vista mecánico puedan parecer relativamente simples.

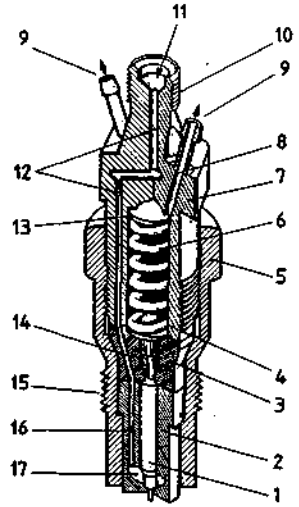


Figura 1. Dibujo mostrando un conjunto inyector y portainyector seccionados para ver su constitución interna.

Pasemos a ver a continuación la constitución interna de los inyectores usados preferentemente en los motores ligeros de automóvil pues si bien existen muy variadas gamas de inyectores para todo tipo de motores, los usados para los motores muy rápidos, dotados de cámaras de turbulencia Ricardo, presentan particularidades especiales y a ellos son a los que nos vamos a referir acto seguido.

Constitución de un inyector

En la figura 1 tenemos un dibujo que nos muestra el conjunto de todo este dispositivo seccionado para que pueda verse la constitución interior del mismo. Los técnicos distinguen en esta pieza lo que es el *inyector* propiamente dicho, que está constituido por la parte de la punta inferior y que proporciona la inyección a la cámara de combustión, y, por el resto del dispositivo que acoge y asegura la presencia del inyector y que recibe el nombre de *portainyector*.

Por el momento veamos en la figura 1 las partes principales de que se compone esta pieza. El inyector propiamente dicho está formado por las pie-

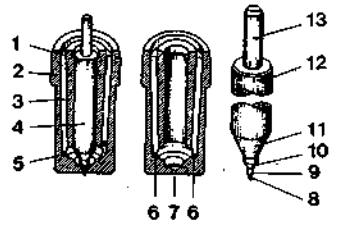


Figura 2. Vista del conjunto de un inyector de los llamados de espiga montado a la izquierda y desmontado a la derecha. 1 y 3, conductos para el paso del combustible. 2, cuerpo del inyector. 4, aguja o espiga del inyector. 5, cámara de presión. 6, perfil de entrada a la cámara de presión. 7, boca del inyector. 8, espiga. 9, espiga estranguladora. 10, superficie cónica de asiento. 11, cono de presión. 12, vástago de la aguja. 13, espiga de presión.

zas 1 y 2 que constituyen respectivamente la aguja del inyector (1) y el cuerpo del mismo (2) sobre el que la aguja (1) puede deslizarse en sentido axial. En la punta de la aguja, en la parte alta, se encuentra un perno de presión (4) que a través de un porta-toberas postizo (3) y un muelle calibrado de presión (6) ejerce una presión determinada sobre la aguja (1) para que ésta permanezca cerrada sobre su asiento inferior. La fuerza con que se asienta la aguja depende de la acción del muelle (que puede regularse por la aportación de arandelas de compensación (13) para obtener valores muy precisos) y debe tener un valor superior, por supuesto, al de la máxima presión de compresión y combustión para que no pueda ser abierto de ningún modo en sentido contrario. La entrada del combustible procedente de la bomba se produce a través del orificio (11) desde el tubo de impulsión roscado en 10, y desde el que se establece una canal de presión (12) en el portainyector que coincide con el del porta-toberas postizo (se ha señalado con el número 14) y continúa hasta el inyector por 16, situándose en una cámara de presión (17) en la que se producirá una elevadísima presión cada vez que la bomba de inyección produzca un golpe de inyección. Esta elevadísima presión (que puede ser del orden de 150 a más de 300 kg/cm^2) vence la presión del muelle y sale al interior de la cámara de combustión cerrándose inmediatamente que el valor de la presión de inyección decrece.

Como puede verse por el dibujo, el porta-inyector está compuesto por un cuerpo racor (5) que se rosca y asegura por 15 al orificio roscado con este fin en la misma culata al que, a su vez, va sujeto el cuerpo superior (7) del porta-inyector. Por último cabe destacar en esta figura los conductos de retorno del combustible (8 y 9) que en este motor al que corresponde este inyector van enlazados todos los inyectores para llevar al rebose el combustible que se hubiera podido acumular en exceso.

La figura clave de todo este equipo es, por supuesto, el inyector propiamente dicho, cuyo conjunto mostramos ahora dibujado en la figura 2. La zona de contacto formada por las espigas de inyección (8) y la estranguladora (9) así como la superficie cónica de asiento de la aguja (10) han de adaptarse con suma perfección sobre sus asientos en la boca del inyector (7) para conseguir un normal funcionamiento. Por esta razón, cuando sufre algún desperfecto

alguna de estas piezas debe cambiarse siempre el conjunto de aguja e inyector, pues ambas están ajustadas con la máxima precisión entre sí y piezas provenientes de conjuntos diferentes pueden no ajustarse correctamente entre sí, y producir fugas y goteos.

Diferentes clases de inyectores

De acuerdo con las características del motor, que vienen determinadas por el tipo de cámara de combustión y del número de r/min máximas que es capaz de alcanzar, así como de su cilindrada, los inyectores pueden estar construidos en base a diferentes diseños. Nosotros vamos a ceñirnos solamente al breve estudio de aquellos inyectores que son preferentemente usados en los motores rápidos y muy rápidos, ya que son los que forman parte de los motores que se fabrican para la propulsión de los automóviles. En este aspecto cabe establecer dos tipos principales de inyectores que son:

- los inyectores de espiga
- inyectores de orificios.

Los primeros son los más adecuados para los motores provistos de cámaras de combustión de turbulencia las cuales no precisan una pulverización tan fina como los motores de inyección directa en los que se emplean casi siempre los inyectores con orificios.

Inyectores de espiga

Estos inyectores también reciben el nombre de *inyectores de tetón* y su constitución básica corresponde al mismo que hemos visto en las figuras 1 y 2. Normalmente trabajan con presiones más bajas que las que necesita el inyector de orificios y que son del orden de los 100 a los 150 kg/cm^2.

En la figura 3 tenemos dos ejemplos muy típicos de inyectores de este tipo. En *a* podemos ver un inyector de espiga de punta cilíndrica en las dos posiciones de cerrado (1) y de trabajo (2) o de inyector abierto. Como puede apreciarse, este tipo de inyectores provocan un chorro bastante concentrado, lo que si bien no favorece la rápida oxidación del combustible por sí solo, debido a la rápida turbulencia del aire en el interior de la cámara separada se consigue por ello una mezcla suficientemente homogénea y rápida. Otros motores, sin embargo, pueden necesitar la producción de un chorro más ancho, y para ello se utilizan inyectores de espiga con tetón cónico como es el caso presentado en *b* de la misma figura 3. El labrado de la punta de la espiga es lógico que intervenga de una manera muy importante en la formación geométrica del chorro. Todo ello está combinado por los ingenieros, así como la posición del inyector en un punto estratégico de la cámara, para conseguir los mejores efectos en la combustión.

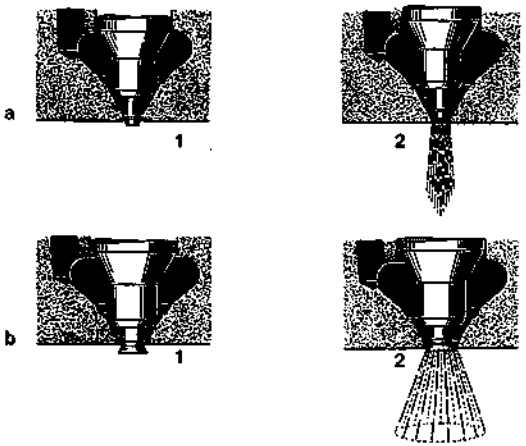


Figura 3. Inyectores de espiga. a, con punta cilíndrica. b, con punta cónica. 1, inyector cerrado. 2, inyector abierto.

Inyectores de orificios

Los inyectores de orificios se han construido para aquellos motores que necesitan disponer de un chorro de inyección altamente fragmentado con el fin de lograr una más rápida oxidación del combustible. Son pues, los inyectores más adecuados para los motores de combustión directa.

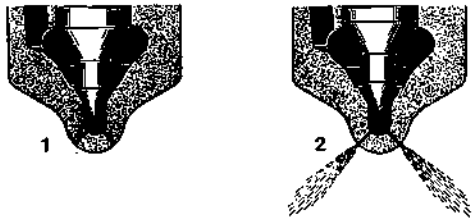


Figura 4. Inyector de orificios. 1, inyector cerrado. 2, inyector abierto.

La punta de uno de estos inyectores la podemos ver en la figura 4. De hecho disponen también de una espiga que asienta sobre una superficie cónica, pero su punta está provista de una tobera con un número determinado de pequeños agujeros u orificios por los cuales ha de pasar el combustible antes de ser lanzado definitivamente sobre la densa atmósfera de la cámara de compresión. Estos inyectores tienen una presión de apertura más elevada que los anteriores, del orden entre 150 a 250 kg/cm^2 pues al pulverizar con mayor finura necesitan una mayor fuerza de impulsión para el combustible inyectado.

El número de orificios de que disponen, así como el ángulo que éstos forman entre sí, tienen la mayor importancia para definir su aplicación a determinados motores. De todos modos, no vamos a entrar en detalles en lo que respecta a los inyectores de orificios porque, como se ha dicho, se utilizan en los motores Diesel de inyección directa, sistema que, por ahora, no ha conseguido adaptarse con éxito en los motores Diesel que propulsan automóviles de turismo.

Lubricación

Tanto los inyectores de espiga como los orificios se lubrican por el efecto del propio gasóleo que, a diferencia de la gasolina, posee un alto poder lubrificante. El gasóleo se puede infiltrar por el interior de las piezas móviles del inyector pero con el fin de evitar la posibilidad de que se crearan topes líquidos, que tanto pueden perturbar el funcionamiento de un circuito hidráulico cualquiera, los inyectores han de estar provistos de un conducto de rebose que permita al combustible sobrante volver al depósito. Esta es la misión de los conductos de retorno que vimos en la figura 1 señalados con 9.

Inyectores modernos

Los técnicos de motores Diesel se habían acostumbrado a llamar con el nombre de motores pequeños los utilizados por los pequeños camiones o por las furgonetas de reparto. En definitiva eran motores de cilindradas por encima de los 3.000 cm^3 en los que además había mucho espacio para la colocación del motor y también para las dimensiones que éste precisara. La entrada del Diesel en el automóvil ha cambiado mucho las cosas a este respecto, pues además de la importancia que tiene el peso, también el espacio se escatima al máximo para una mayor comodidad de los usuarios. En general, se puede decir que el motor Diesel está luchando para reducir sus dimensiones y ya hemos visto cómo las bombas rotativas son un buen ejemplo de ello.

En lo que respecta a los inyectores también ocurre que los tradicionales resultan demasiado grandes para motores de unas cilindradas unitarias relativamente pequeñas (recuérdese, por ejemplo, que un motor de 1.600 cm^3 dis-

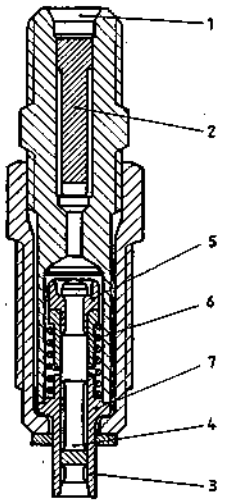


Figura 5. Vista en sección de un inyector del tipo Microjector, de CAV.

pone de una cilindrada unitaria de unos 400 cm³) de modo que presentan a veces dificultades de ubicación.

Por estas razones se están estudiando diseños de inyectores con unos tamaños francamente razonables. La casa CAV, por ejemplo, fabrica el inyector de espiga llamada *«Microjector»* que podemos ver en la figura 5 en donde incorpora la entrada del combustible a presión por todo el recorrido interior del inyector. En efecto: La entrada de combustible se realiza por 1 y atraviesa en primer lugar un filtro (2) desde el que pasa a la tobera (3) después de abrir la espiga (4) por la fuerza que la presión de inyección ejerce sobre el collar (5) que vence la acción del muelle (6). Unos orificios de admisión (7) favorecen el paso del gasóleo.

La característica fundamental de este inyector es la forma compacta como han sido tratados todos sus componentes hasta el punto de que se ha conseguido un inyector que tiene el tamaño de una bujía típica de un motor de explosión. Así pues se acopla en un agujero en la culata de un diámetro de rosca de 14 mm y tiene una longitud de solamente 75 mm con un peso de 52 g.

Dado el principio de funcionamiento descrito ya puede verse que este inyector de la CAV no precisa de combustible adicional para su engrase y por lo tanto resulta muy parecido a una bujía de encendido corriente en cuanto

a su disposición sobre el motor. Otras casas fabricantes de material de inyección han hecho también propuestas semejantes de inyectores de muy reducido tamaño.

Trabajos prácticos con los inyectores

Los equipos de inyección están fabricados con el suficiente cuidado como para que duren muchos kilómetros con un funcionamiento muy satisfactorio. En lo que respecta a los inyectores puede decirse que, en la gran mayoría de los casos (y sobre todo si se mantiene con el rigor y periodicidad indicados la limpieza de filtros) difícilmente pueden observarse fallos antes de los 50.000 kilómetros recorridos, de modo que es entonces cuando puede ser conveniente acudir a su desmontaje y limpieza del modo que se va a indicar a continuación.

Antes de efectuar el desmontaje hay que estar seguros de disponer del material de comprobación preciso para efectuar las verificaciones necesarias en los inyectores, material que describiremos más adelante.

Desmontaje del inyector del motor

El portainyector debe encontrarse perfectamente anclado en la culata de modo que forme un conjunto estanco con ella. Esto se logra por medio de unos tornillos que lo fijan al cuerpo de la culata. El desmontaje debe efectuarse de la siguiente manera:

En primer lugar se debe proceder a desmontar las tuberías de alimentación que se hallan roscadas por medio de un racor al cuerpo del porta-inyector. En la figura 6 se muestra el momento en que ha sido desenroscado el racor procedente de la bomba y se ha retirado este tubo de impulsión. Acto seguido se deberá proceder a desconectar del mismo modo el tubo de rebose que, como se ve en la figura, se halla en comunicación con el filtro.

Dada la importancia que tiene la perfecta estanqueidad de todas las tuberías habrá que pensar siempre que se desmonte un inyector en sustituir cuantas arandelas de presión se encuentren en las piezas desmontadas. Por esta razón, y tal como muestra la figura 7, convendrá sacar la pieza de enlace con su arandela para su sustitución durante el proceso de montaje que deberá hacerse posteriormente.

Una vez liberado el porta-inyector del conjunto de las tuberías ya se puede pasar al desmontaje del mismo de la forma que se muestra en la figura 8. Con la ayuda de una llave de tubo será suficiente para retirar cada uno de los tornillos que sujetan el porta-inyector por cada lado. Una vez retirados los tornillos, el porta-inyector completo sale tirando de él hacia afuera.

Una vez el porta-inyector se haya retirado, se verá que en la parte inferior del mismo, en la zona de asiento en la culata, se encuentra una arandela generalmente de cobre, tal como se muestra en la figura 9. Esta arandela es parte

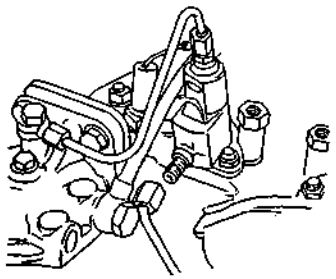


Figura 6. Para el desmontaje del inyector lo primero que hay que hacer es proceder a desconectar los tubos de impulsión retirando su racor correspondiente. Aquí se está retirando el procedente de la bomba de inyección (1). Luego se quitará el de rebose (2).

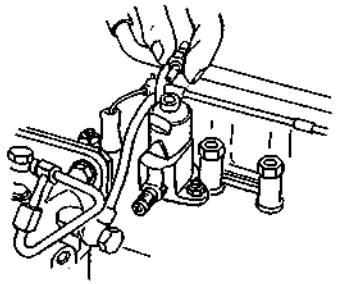


Figura 7. Retirando el enlace (E) con su arandela que deberá ser sustituida en el montaje.

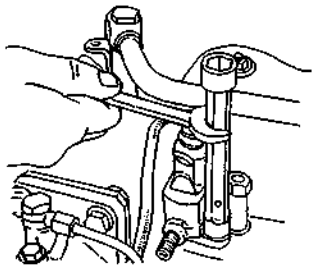


Figura 8. Con una llava de tubo ya pueden retirarse los tornillos de sujeción del inyector.

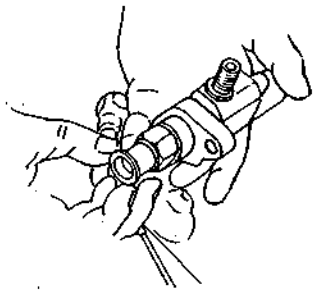


Figura 9. La arandela de estanqueidad (A) no debe aprovecharse después de haber sido desmontada. Debe cambiarse siempre. R, hexágono de la rosca de sujeción del inyector al porta-inyector.

muy importante para la perfecta estanqueidad del porta-inyector en su orificio de la culata y para evitar fugas es conveniente sustituirla siempre que se trate de volver a montar el conjunto de este dispositivo.

Para desmontar el inyector del porta-inyector basta con sacar a rosca el inyector. Esta rosca es la señalada con R en la citada figura 9. Para efectuar este desmontaje con las debidas garantías resulta conveniente proceder a colocar el porta-inyector en un tornillo de banco asegurado mediante unas mor-

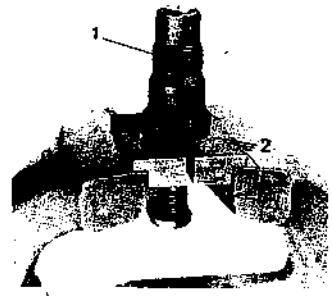


Figura 10. Forma correcta de sujetar el porta-inyector (1) para proceder a su desmontaje. 2, mordazas de ajuste del cuerpo del porta-inyector a las mordazas del tornillo.

dazas del tipo de las mostradas en 2 de la figura 10, la sujeción del porta-inyector. Desde este punto y con una llave fija puede retirarse el cuerpo del inyector.

Insistimos en que en el momento en que se efectúe esta operación el nuevo montaje del inyector requerirá del auxilio de aparatos de verificación de modo que no hay que embarcarse en su desmontaje —muy fácil por cierto— si no se cuenta con los suficientes medios para hacer un correcto montaje posterior.

Por otra parte también hay que insistir de una manera muy reiterada en la necesidad de conseguir en el puesto de trabajo la máxima limpieza no sólo en el mismo puesto de trabajo sino también en las herramientas que van a auxiliarnos en el desmontaje y comprobación. Pequeñas partículas de suciedad que resultan del todo invisibles podrían ocasionar trastornos graves en el momento del montaje de nuevo del inyector si no han sido previamente eliminadas.

También es muy importante tener en cuenta que la espiga y el cuerpo del inyector no constituyen unidades intercambiables, de modo que si desmontamos varios inyectores a la vez (cosa que no es aconsejable para no confundirse precisamente en este aspecto) tendremos que guardar un orden muy estricto en lo que respecta a no confundir las piezas de uno u otro inyectores.

Por último, hay que advertir de que la espiga del inyector debe tomarse siempre con la ayuda de pinzas o de alicates de puntas, y siempre por la zona más alejada de la punta. No se caiga en la tentación de tomarla con los dedos pues las superficies pulidas de la aguja podrían iniciar una corrosión provocada por el ácido de la piel.

Antes de hacer ninguna otra revisión se deberá proceder a una limpieza previa de los elementos del inyector ayudándose de un equipo de limpieza de los que se venden en los comercios especializados para este fin y que, en la figura 11 se puede ver un ejemplo. Dada la gran delicadeza de estas piezas no

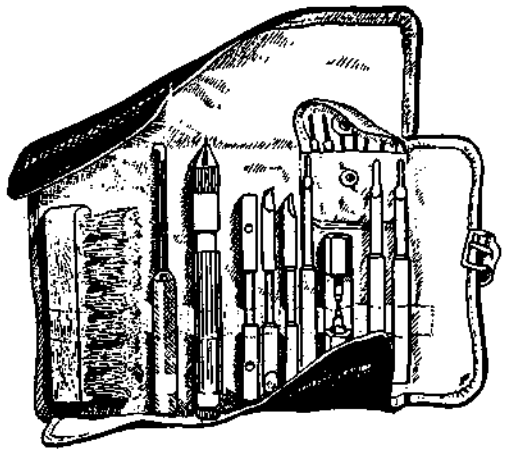


Figura 11. Equipo completo de herramientas para la limpieza y repasado de los inyectores.

utilizar rascadores ni mucho menos esmeril, etcétera, para proceder a este tipo de limpieza. De ninguna manera se pasará un objeto duro por la boca del inyector pues el diámetro de su orificio es, si cabe, más preciso que los orificios de los calibres o surtidores de los carburadores que conocemos en los motores de explosión.

Limpieza del inyector

Una vez realizada una limpieza previa exterior conviene pasar a una limpieza delicada y a fondo del resto del conjunto. Para ello vamos a mostrar al lector una serie de figuras que vamos a comentar brevemente y que nos muestran cada uno de los pasos necesarios para llevar a cabo este trabajo, siempre con la ayuda del equipo de limpieza para inyectores y no sustituyendo estos elementos por otros parecidos pero de dureza y efectividad dudosas.

En la figura 12 vemos cómo, con un cepillo metálico de cerdas muy finas, se está limpiando el extremo de la espiga en la zona más delicada de la misma que es el cono de asiento. Las cerdas estarán embebidas en gasóleo y una vez limpia la espiga se deberá sumergir de nuevo en este líquido limpio.

En la figura 13 se puede apreciar el momento de la limpieza de la canal de alimentación de la cámara de presión del inyector. Esta canal se puede limpiar o bien con un palito de madera o con el alambre limpiador que posee el equipo. Aunque no se trata de una canal calibrada hay que ir sin embargo con sumo cuidado de no dañarla ni ensancharla introduciendo un alambre de una medida inadecuada que pudiera atascarse.

En la figura 14 se está procediendo a la limpieza de la canal de guía de la espiga por la que ésta se desliza. Esta operación se realiza con un vástago limpiador del equipo de limpieza que debe tener la medida adecuada para este trabajo.

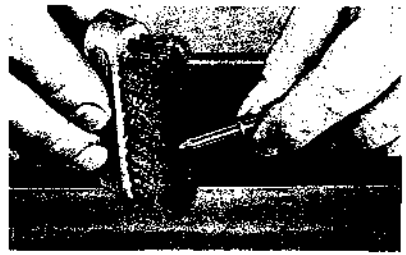


Figura 12. Limpieza de la aguja con un cepillo de cerdas metálicas finas.

Figura 13. Limpieza de la canal de entrada del combustible a la cámara de presión.

Figura 14. Limpieza de la ranura central de la tobera con un vástago rascador.

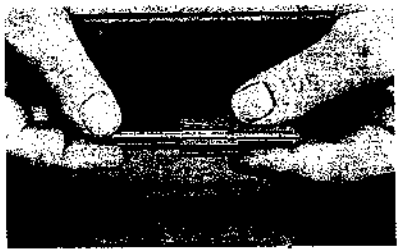


Figura 15. Limpieza del asiento de la tobera con una aguja rascadora.

En la figura 15 se está procediendo a la limpieza del interior de la tobera. Como quiera que aquí sí pueden haber residuos importantes de depósitos de carbón es necesario que la aguja rascadora tenga el diseño de la punta exactamente de la misma forma que son los ángulos y la conicidad del asiento de la espiga. Se trata pues de una herramienta adecuada al tipo concreto de inyector que se limpia.

En la figura 16 se puede ver cómo se realiza la limpieza de los orificios en el caso de inyectores de orificios que, como se dijo no hace mucho, no suelen ser los más corrientes en los motores Diesel de automóvil. Los orificios están, por supuesto, calibrados, y deben ser desatascados con una herramienta porta-alambres en cuya punta hay que colocar un alambre perfectamente calibrado, del diámetro correspondiente al orificio que se trata de desatascar. Esta herramienta forma parte del equipo de limpieza y pudo verse también en la pasada figura 11.

Una vez efectuada esta limpieza se puede pasar al control del inyector de forma visual.

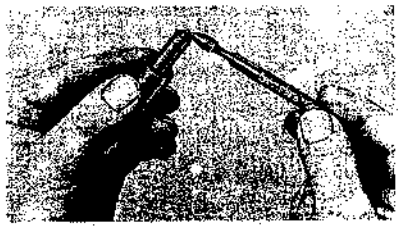


Figura 16. Limpieza de los orificios de la tobera.

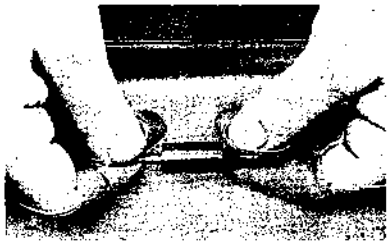


Figura 17. Comprobación del juego entre la aguja y su canal de ubicación en el cuerpo del inyector.

Control del inyector

Después de esta limpieza, los inyectores deben someterse a un control visual previo que es mejor realizarlo con la ayuda de una lupa para descubrir con mayor exactitud los defectos. Pasaremos primero a observar la punta de la espiga para ver si muestra deformaciones, rayaduras o zonas azuladas que delaten recalentamientos que pudieran haber deformado la punta. Cualquier irregularidad en este sentido será causa suficiente para tener que desechar el inyector.

En cuanto al asiento fijo que se halla en el cuerpo del inyector sobre el que se debe acoplar la espiga, hay que observarlo también atentamente para ver si está abollado o coquizado. También se tendrá que observar si el orificio de salida se halla ovalado como señal del deterioro de éste.

Si el inyector pasa todos estos controles visuales previos con satisfacción convendrá todavía hacer un nuevo control del deslizamiento de la espiga por el interior de su guía en el cuerpo del inyector, el cual se efectuará del siguiente modo: Se sumerge la aguja del inyector y el cuerpo del mismo por separado en una bandeja con gasóleo muy limpio y se coloca la aguja o espiga en su canal en el cuerpo del inyector, tal como se muestra en la figura 17. Luego se saca del líquido este conjunto así unido y sosteniendo el cuerpo del inyector en posición vertical habiendo levantado la aguja como un tercio de su longitud, se observará si la aguja cae por su propio peso hasta el fondo de su asiento. Esta operación deberá repetirse varias veces dándole a la aguja diversos giros para ver si se comporta del mismo modo en todas las posiciones que se le impriman. Si la aguja no consigue regresar por su propio peso hasta su asiento, en cualquiera de las posiciones, será señal de un mal acoplamiento y en su consecuencia habrá que cambiar el conjunto.

En esta prueba también se tendrá que interpretar el caso contrario, es decir, el excesivo juego entre la aguja y su canal. Así, una caída excesivamente rápida, aún estando bien bañada en gasóleo, puede ocasionar en la práctica

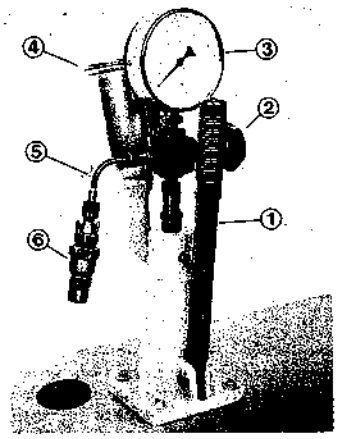


Figura 18. Bomba para la comprobación de inyectores. 1, palanca manual de accionamiento de la bomba. 2, válvula de cierre. 3, manómetro. 4, depósito de combustible. 5, codo. 6, inyector.

excesivas pérdidas de aceite de fuga con pérdida de presión de inyección, que pueden afectar a la potencia del motor.

Control de funcionamiento

Una vez repasados y limpios todos los inyectores con las operaciones descritas realizadas sucesivamente en cada uno de ellos, y después de haber pasado satisfactoriamente el control visual que acabamos de describir, el inyector debe ser sometido a varias pruebas que pueden resumirse en los siguientes tres puntos:

- Control de presión y tarado
- Control de estanqueidad
- Control de pulverización y dirección del chorro.

Estas pruebas han de realizarse forzosamente con la ayuda de una bomba de pruebas de inyectores gracias a la cual se puede tomar nota de los resultados obtenidos. Una de estas bombas la podemos ver en la figura 18. Su funcionamiento es muy sencillo. Consta de un depósito de combustible (4) que puede ser bombeado por medio de una palanca manual de accionamiento (1) a una presión muy elevada. Un manómetro (3) indica la presión a que se manda el golpe de palanca, y un codo de adaptación (5) posee un racor para

la unión a él del inyector que se va a someter a la prueba (señalado con 6). Por último, una válvula de cierre (2) puede desconectar el manómetro del resto del dispositivo. Como puede observarse, el chorro que producirá el inyector irá a parar a un orificio de recogida y reboso que se halla en el suelo donde está anclada la bomba.

Antes de hacer ninguna prueba es importante tener en cuenta que la presión a que sale el combustible una vez accionada la palanca de accionamiento es enorme. Además el combustible sale pulverizado. Resulta pues muy peligroso que el chorro dé en las manos del operario porque debido a su presión y a lo fino de su partículas es capaz de penetrar a través de los poros de la piel y causar infecciones.

Después de montar el inyector del modo que ya vemos se encuentra en la figura 18 se debe accionar varias veces la palanca de accionamiento de la bomba con el fin de purgar de aire el conducto que va hasta la salida del inyector cosa que se delata por la calidad del chorro. A continuación ya se podrán empezar las pruebas que hemos señalado.

Control de presión y tarado

Esta prueba consiste en controlar a qué valor de presión el inyector inicia la inyección, valor que viene proporcionado por los datos técnicos del constructor. Veamos la forma de operar en este caso.

Se abre la válvula de desconexión (2, en la figura 18) para que el manómetro intervenga en la medición de la presión. Aquí cabe una advertencia previa muy importante: Cuando el manómetro está en circuito la palanca de accionamiento debe manipularse lentamente y ha de dejarse escapar también lentamente para permitir que la aguja del manómetro suba y baje con lentitud y no se deteriore el manómetro de una forma rápida al recibir una presión tan elevada súbitamente.

En estas condiciones pues, se acciona la palanca de la bomba con suavidad y se está atento al momento en que el inyector comience el goteo. En este mismo punto se toma nota de la presión señalada por el manómetro. Este valor debe coincidir con el indicado por el constructor en el siguiente sentido: Supongamos que el constructor nos da un valor de 115 atmósferas con una tolerancia de 5 atmósferas más o sea que el valor puede oscilar entre las 115 y las 120 atm. reales. Cualquier valor que nos indique el manómetro que esté por encima o por debajo de esta tolerancia precisará de un ajuste o tarado del inyector, operación que veremos inmediatamente cómo se realiza. Ahora bien, si el inyector ha funcionado durante muchos kilómetros y resulta ya viejo, pero no desechable por su todavía buen funcionamiento, puede seguir usándose aún cuando nos proporcione una presión menor a las 115 atm. que son mínimas. En realidad pueden todavía conservarse con valores de poco más de un 10 % inferiores a los mínimos autorizados para los inyectores nuevos, pero siempre y cuando se trate de inyectores muy usados que acreditan así, sin embargo, su calidad. En un inyector nuevo, o poco usado, un valor

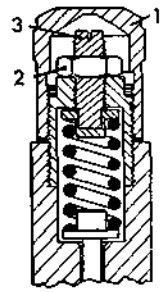


Figura 19. Mecanismo de regulación a tornillo en un inyector. 1, tapa. 2, contratuerca. 3, tornillo de ajuste.

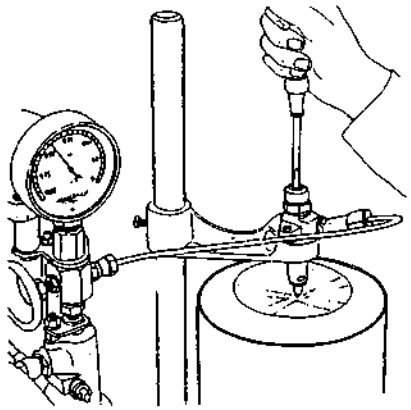


Figura 20. Forma de ajustar la presión de descarga actuando con un destornillador sobre el tornillo de ajuste.

inferior a las 115 atmósferas ha de regularse por tarado o desecharlo si ello no es posible.

Los inyectores disponen de un sistema de tarado o ajuste de su presión que consiste en un dispositivo para regular la presión del muelle sobre la espiga por diversos procedimientos. En la figura 1, primera de este capítulo, vimos un inyector seccionado. Allí, en la parte señalada con el número 13 vimos la zona donde se colocan las *arandelas de compensación* que pueden ser de diferentes gruesos que van desde 1,00 mm a 1,80 mm con espesores intermedios que varían entre 0,05 a 0,05 mm. En este tipo de inyector que muestra la figura citada su fabricante suele establecer que cada 0,05 mm de más grueso de la arandela se consigue un aumento de unas 3 atm. reales. Así pues el trabajo consiste solamente en conseguir colocar una arandela del grueso adecuado para mantener al inyector dentro de las presiones de tolerancia que se le exige.

Al margen de este procedimiento, también podemos encontrarnos con inyectores que van provistos de otros sistemas de regulación del muelle. Un caso de regulación por tornillo como el mostrado en la figura 19 puede resultar también muy corriente. En estos inyectores, una vez retirada la tapa de protección (1), nos encontramos con un conjunto de regulación de tornillo (3) y contratuerca, de parecidas características al mecanismo de ajuste de la holgura de válvulas en los motores. Basta aflojar la contratuerca (2) para liberar el giro del tornillo de ajuste (3) y regular por medio de él la presión requerida. En la figura 20 vemos un dibujo que nos muestra el momento en que se está efectuando el tarado en un inyector de este tipo. Con la ayuda de un destornillador, y mientras se está produciendo la descarga, se puede actuar aflojando o apretando el tornillo para conseguir que la presión se encuentre dentro de los valores correctos.

Control de estanqueidad

Esta segunda prueba consiste en ver hasta qué punto el inyector cierra de modo que no presenta fugas a valores de presión ligeramente por debajo de su presión de funcionamiento. Se realiza de la siguiente manera: Se baja lentamente la palanca de accionamiento de la bomba observando el valor que progresivamente va indicando el manómetro. Cuando este valor es de entre 20 a 15 atm. menor que el valor de presión de funcionamiento, se interrumpe la carrera de la palanca y se cierra la válvula de desconexión del manómetro de modo que la presión se mantenga en el circuito hidráulico interior del inyector. En estas condiciones, si la aguja cierra perfectamente sobre su asiento, el inyector no debe gotear y ni siquiera hallarse húmedo por la punta. Ello será señal de una perfecta estanqueidad.

Si, por el contrario, el inyector, al llegar a la presión mínima indicada, se humedece o comienza a gotear se tendrá que proceder a un ligero rectificado de la aguja en su asiento por un procedimiento muy parecido al utilizado en el trabajo de esmerilado de válvulas pero utilizando un poco de Netol o algún abrasivo muy suave girando varias veces la aguja sobre su asiento.

Si no se consiguen resultados positivos puede acudirse a un rectificado a fondo, pero ello requiere mucha práctica en este trabajo y en el uso de pasta esmeril para el ajuste. Si no puede lograrse el perfecto ajuste de la aguja en su asiento será necesario proceder a la sustitución del inyector completo pues la estanqueidad tiene que estar asegurada.

Control de pulverización y dirección del chorro

Otra de las pruebas a que debe someterse el inyector es al control del chorro, operación que se efectúa de la siguiente forma: Se acciona la palanca de la bomba de una manera breve pero enérgica aproximadamente unas dos veces por segundo y, por supuesto, desconectado el manómetro ya que la medición de los valores de presión no es ahora de interés para esta prueba.

En la figura 21 se muestran tres posibilidades de salida del chorro desde el inyector, en uno del tipo de espiga. En A tenemos la salida correcta del combustible. El chorro debe ser bastante compacto y no presentar hilillos desparramados. En B,por ejemplo, tenemos un caso de chorro demasiado ancho para una cámara de turbulencia, lo que daría de sí una combustión más difícil. También el caso contrario, representado en C, en donde el chorro se agrupa

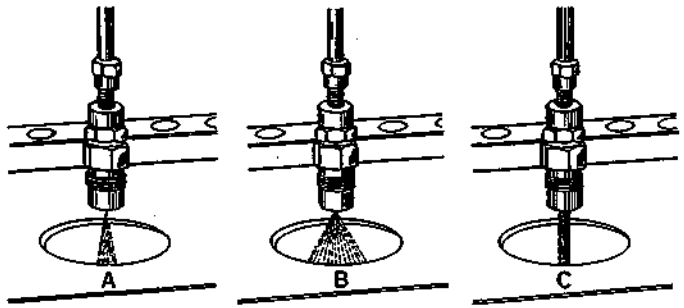


Figura 21. Tres formas posibles de salida del chorro en la prueba del inyector de espiga. A, chorro correcto. B, chorro demasiado ancho. C, chorro en forma de cordón que resulta demasiado compacto.

en forma de cordón resulta igualmente incorrecto y acostumbra a provenir este defecto por la falta de presión de apertura o bien porque la aguja está agarrotada.

En los inyectores de espiga la dirección del chorro debe seguir el eje axial del inyector en la gran mayoría de los casos, pero pueden presentarse también algunos motores en los que la dirección del chorro puede ser diferente según el diseño. En los inyectores de orificios, utilizados en los motores Diesel de inyección directa, el chorro sale con un determinado ángulo y dividido en tantos dardos como agujeros u orificios tenga el inyector. Resultan muy corrientes los de cuatro orificios, en cuyo caso debe observarse la salida de cuatro chorros iguales, tal como muestra la figura 22.

Hay que aprovechar esta prueba para comprobar otro factor de valoración del estado del inyector que consiste en escuchar el *sonido* del chorro. Para ello se baja la palanca de accionamiento a un ritmo inferior que puede ser de una carrera por segundo, y se escucha cómo el inyector rechina. Si lo hace suavemente es que el inyector se halla en buen estado; pero si rechina solamente un poco o no lo hace en absoluto entonces será indicio de falta de estanqueidad. Se tendrá que repasar este defecto del modo que ya se ha explicado anteriormente.

La prueba de sonido puede completarse haciendo inyectar al inyector de una forma seguida durante unos 10 segundos, bajando a fondo con rapidez y brevedad la palanca con unas de 2 a 3 carreras por segundo. En este caso el chorro debe salir compacto y con un silbido alto claramente diferenciado. Si no se consigue este sonido se tendrá que proceder al desmontaje del inyector, su reparación por los procedimientos que se han estudiado, o su sustitución en el caso extremo de no lograr la corrección del defecto.

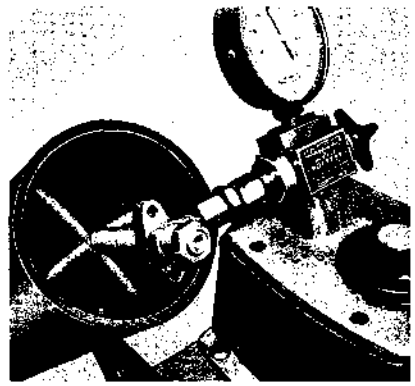


Figura 22. Control de pulverización en un inyector de orificios. En este caso se trata de un inyector de cuatro orificios. Hay que controlar la longitud de los chorros y su ángulo.

Síntomas del fallo de los inyectores

Unos inyectores en mal estado pueden ocasionar fallos en la combustión que se suelen delatar por defectos en la misma. Por ejemplo, el golpeteo de uno o más cilindros puede estar causado por inyectores que no tienen perfecta estanqueidad. También un motor sobrecalentado, o una caída de potencia del motor, o un incremento del consumo de combustible pueden estar ocasionados, entre otros defectos, por el mal funcionamiento de uno o más o todos los inyectores. De modo que es conveniente vigilar que su funcionamiento sea irreprochable.

Pero el síntoma que más nos puede ayudar a conocer el estado en que se encuentran los inyectores, sin el desmontaje de éstos, es el estado de humos que el motor produce (lo que, sin embargo, no quiere decir que de todo exceso de humos sea el inyector el responsable, ni mucho menos). En general, cuando un motor Diesel tiene ausencia total de humo indica el correcto estado de reglaje del motor y por consiguiente también de los inyectores. Ante un humo claro, la situación puede ser todavía aceptable en un motor que ha realizado muchos kilómetros, pero cuando el humo es negro o gris oscuro y se produce a plena carga y a velocidades altas o medias acompañado de síntomas tales como pérdida de potencia o golpeteos del motor es muy probable que

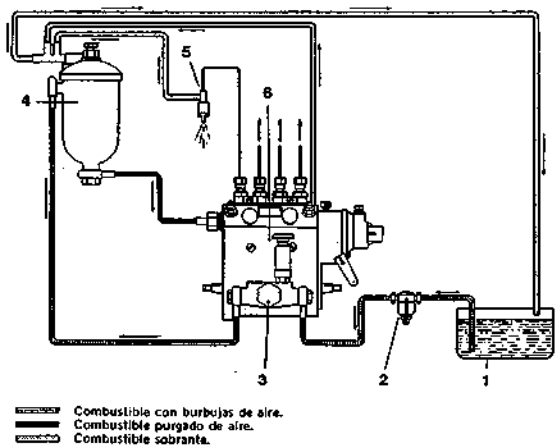


Figura 23. Circuito de alimentación.

el inyector sea el culpable por defectos de funcionamiento. También humos en el escape de una manera intermitente o a bocanadas, a veces con tonalidades blancas o azules pueden estar causadas por defectos de la aguja del inyector que se puede gripar intermitentemente.

Más adelante, en el capítulo que dedicaremos a las averías, apuntaremos las posibles causas de averías de estos delicados dispositivos.

El montaje del inyector en el portainyector se realiza de modo inverso al desmontaje que hemos visto, teniendo siempre la precaución de sumergir las piezas en gasóleo para que se lubrifiquen en el montaje y en cambiar las arandelas de cobre cuando el conjunto sea montado de nuevo sobre la culata en su orificio correspondiente.

A continuación pasemos a la segunda parte de este capítulo que se halla dedicada al circuito de alimentación de combustible.

Circuito de alimentación de combustible

Para terminar el tema descriptivo de la inyección nos queda por hablar todavía del circuito más simple de que consta: nos referimos al circuito de alimentación cuyo esquema funcional podemos ver en la figura 23. A este circuito también se le suele dar el nombre de *circuito de baja presión* por el bajo

valor a que trabaja en comparación con los elevados valores a que lo hace la bomba y los inyectores.

Los elementos de que consta quedan claros en la citada figura 23. Aquí se puede distinguir el depósito de combustible (1) como elemento fundamental de la carga y transporte del gasóleo. Una bomba aspirante (3) aspira el combustible del depósito a través de un primer prefiltro (2) que se encarga de retener las primeras impurezas que el combustible pueda contener.

Desde esta bomba el combustible es mandado al filtro principal (4) y desde allí, como puede verse por la disposición de las flechas, el combustible pasa, totalmente purgado de aire y de la gran mayoría o la totalidad de sus impurezas eliminadas, a la bomba de inyección (6), desde donde pasará al inyector (5) del modo que es habitual.

Por la parte alta de la figura se han dibujado los circuitos de rebose tanto del inyector como de la bomba y el mismo filtro, todos los cuales van a parar de retorno al depósito para el siguiente aprovechamiento del combustible.

De este circuito hemos de destacar dos elementos que reúnen la mayor importancia no solamente en el mismo circuito de alimentación de combustible sino en todo el conjunto de la inyección. Estos elementos son:

- La bomba de alimentación
- Los filtros principales.

Veamos cada uno de ellos por separado.

La bomba de alimentación

Al igual que ocurre en el motor de explosión también en el motor Diesel la bomba de alimentación tiene una gran importancia por el valor de presión a que proporciona el combustible a la entrada en la bomba de inyección. Si la potencia de alimentación fuera insuficiente una bomba de inyección en línea podría acusar dificultades de suministro en muchos momentos de su actuación. En cuanto a las bombas rotativas, como ya vimos en su momento, dado el caso de que esta bomba de alimentación la llevan incorporada en su interior, por el procedimiento normalmente de paletas, es un elemento muy importante para crear las presiones intermedias que determinan el funcionamiento de muchos dispositivos fundamentales para el buen rendimiento de la bomba, pero no nos ocuparemos de ella por haberlo hecho en su momento.

Un tipo de bomba de alimentación muy corriente, de la marca BOSCH, muy utilizada en las bombas de inyección en línea de esta marca, es la que puede verse en la figura 24. Se trata de una bomba de alimentación de las llamadas de *simple efecto*, y se halla dibujada de modo que pueda verse su composición interior lo que va a facilitarnos la comprensión de su funcionamiento. Por el momento, veamos la entrada del combustible por 1 y la salida por 9, después de que el combustible haya sido aspirado por un émbolo (6) al que acciona el propio eje de levas de la bomba de inyección (11) y después

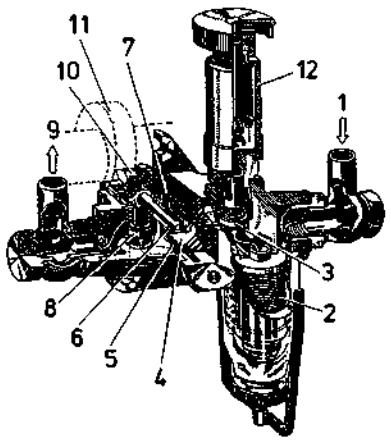


Figura 24. Bomba de alimentación BOSCH. 1, aspiración. 2, prefiltro. 3, válvula de aspiración. 4, cámara de aspiración. 5, muelle del émbolo. 6, émbolo. 7, cámara de compresión. 8, válvula de descarga. 9, salida. 10, rodillo empujador. 11, eje de levas. 12, bomba manual de cebado.

de haber pasado por un prefiltro (2) siguiendo el camino que indican las flechas blancas de la figura.

Para profundizar en el conocimiento de esta bomba veamos, en la figura 25, un esquema de su funcionamiento en dos fases del mismo. En el dibujo de la izquierda tenemos el momento en que, de acuerdo con el giro de la leva (11) del eje de levas de la bomba, el rodillo empujador (10) está presionando sobre la varilla de impulsión (14) la cual empuja al émbolo (6) en el sentido de la flecha de modo que se comprime el muelle del émbolo (5) y se reduce el volumen de la cámara (4).

Como quiera que esta cámara de aspiración (4) se hallaba llena de combustible, éste se ve forzado a salir a través de la válvula de descarga (8) que solamente puede abrirse empujada por la presión del líquido desde la cámara. La otra válvula de aspiración (3) permanece cerrada pues solamente se puede abrir en el caso de que el movimiento sea de aspiración, es decir, de aumento del volumen de la cámara. Por lo tanto, en este primer movimiento mostrado en *a* el combustible es forzado a salir por el conducto de salida (9) y mandado hacia el filtro principal que vimos en el circuito general de la figura 23, proceso que llega a su máximo valor cuando la excentricidad máxima de la leva empuja hasta el fondo al émbolo (6).

En cuanto la leva (11), en su giro, presenta la zona no excéntrica sobre el rodillo (10), tal como acontece en la parte *(b)* de la derecha de la figura, el émbolo asciende impulsado por el muelle, y como que la válvula de descarga (8) permanece cerrada, se crea un vacío de aspiración que a la vez que abre

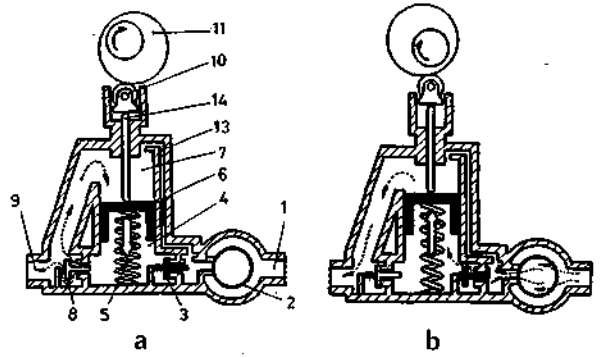


Figura 25. Esquema de funcionamiento de una bomba de simple efecto. Se muestra en *a* la carrera intermedia y en *b* la carrera de impulsión y aspiración. 1, entrada. 2, prefiltro. 3, válvula de aspiración. 4, cámara de aspiración. 5, muelle del émbolo. 6, émbolo. 7, cámara de compresión. 8, válvula de descarga. 9, salida. 10, rodillo empujador. 11, eje de levas. 13, canal de retorno. 14, varilla de impulsión.

la válvula de aspiración (3) aspira gasóleo procedente del depósito de combustible, el cual entra por 1, atraviesa el filtro (2) y la válvula de aspiración (3) y corre a llenar la cámara (4). Por supuesto, cuando la excéntrica de la leva vuelve a presionar sobre el émbolo (6) se restablece la situación anterior mostrada en la figura de la izquierda *(a)* y el combustible resulta de nuevo lanzado a través de la válvula (8) de descarga por el conducto de salida (9). Esta situación termina con el empuje de la presión del muelle, la expansión de nuevo de la cámara y la nueva aspiración de combustible, repitiéndose el ciclo tantas veces como sean necesarias mientras la bomba funcione.

Esta bomba dispone además de un sistema de autorregulación muy sencillo y efectivo que consiste en lo siguiente: Cuando el combustible resulta impulsado hacia el conducto de salida (9) parte del mismo puede pasar a ocupar la cámara de compresión (7) del modo que indican las flechas de la figura 25. Si la presión en el conducto (9) aumenta por encima de cierto valor que suele ser de alrededor de 1,50 atm., el combustible depositado en la cámara dificulta el retorno del émbolo (6) ya que la presión del muelle (5) resulta insuficiente y éste puede quedarse a media carrera siendo después la impulsión siguiente mucho más pequeña como resultado de la corta carrera del émbolo. Como puede observarse por el esquema que estamos comentando, una salida de retorno (13) asegura que el valor de la presión nunca alcance valores peligrosos por el retorno del combustible al punto de partida a través de este canal de rebose.

Una bomba como la descrita solamente manda combustible a cada una

de las emboladas de su pequeño pistón, de modo que tiene un tiempo de trabajo y otro, improductivo, de aspiración. El caudal de combustible mandado por este procedimiento no puede ser excesivamente grande, aunque sí suficiente para las necesidades de un automóvil. Cuando se necesita un caudal de combustible el doble del proporcionado por este sistema, existen bombas llamadas de *doble efecto*, mediante las cuales se está impulsando constantemente combustible al filtro principal. Estas bombas, que trabajan por las dos caras del émbolo, se suelen utilizar en motores grandes de autocamiones que por su gran cilindrada y potencia requieren un caudal muy elevado de gasóleo. No las vamos a describir aquí.

Todas las bombas de alimentación de combustible para los motores Diesel cuentan, además, con un procedimiento manual de accionamiento del émbolo para conseguir con ello cebar el circuito sin necesidad de hacer uso reiterado del motor de arranque. Esta bomba manual de cebado, como así se le llama, la podemos ver en la pasada figura 24, señalada en 12. Apretando su pulsador, que ocupa la parte más alta de la figura, se produce una succión que atrae el combustible directamente del depósito y lo manda a través del conducto que va a parar al filtro y a la bomba de inyección. De este modo se llena este conducto y se podrá purgar de posibles burbujas de aire del modo que ya se explicará cuando hablemos de esta operación en las bombas de inyección, al final de este mismo capítulo. De todos modos, lo importante es que el circuito se mantenga siempre cebado pues ya vimos, al hablar de las bombas y la forma de funcionar su circuito hidráulico, la necesidad de que los conductos se hallen siempre llenos de combustible.

Los motores Diesel de automóvil dotados de bomba rotativa llevan además de la bomba de paletas que ya conocemos una bomba de membrana muy similar a la bomba de alimentación que llevan los motores de explosión para el mando de la gasolina al carburador. Esta bomba mantiene el circuito de alimentación a una presión básica que después la bomba de paletas modulará del modo que ya se estudió cuando tratamos de este mismo tema. En la figura 26 tenemos un despiezo de una bomba de alimentación de este tipo para motor Diesel. Algunas de estas bombas, como la representada en la figura, llevan el prefiltro incorporado (lo vemos representado en 1 y 2 con el tamiz y la campana de decantación respectivamente); pero resulta frecuente el caso de que el filtro se encuentre aparte de la bomba. La palanca de accionamiento manual (7) la podemos ver acompañada de todas las piezas que la componen. En cuanto al resto de la figura creemos que no es necesario comentarla ya que se trata de una bomba de alimentación de membrana típica.

Los filtros principales

El segundo elemento de gran importancia en el circuito de alimentación es, sin duda, el formado por los filtros. Así como el motor de explosión no resulta excesivamente exigente en cuanto a la limpieza de la gasolina mientras ésta no contenga impurezas de un diámetro superior al más pequeño orificio

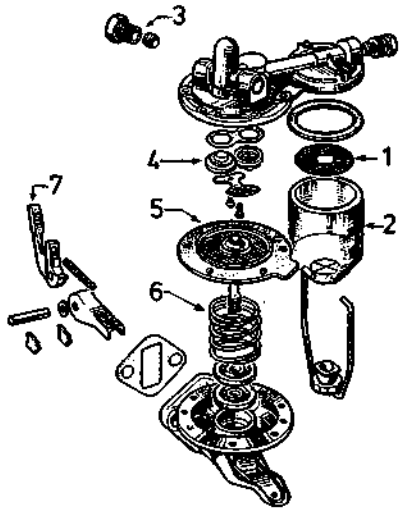


Figura 26. Bomba de alimentación de membrana mostrando su despiezo. 1, prefiltro. 2, vaso de decantación. 3, racor. 4, válvulas de plato. 5, membrana. 6, muelle. 7, palanca.

de los surtidores de su carburador, la bomba de inyección y los inyectores precisan reducir el diámetro de las impurezas que pueda contener el combustible a tamaños extraordinariamente pequeños, para que no puedan depositarse y obturar los orificios calibrados. El asiento de los inyectores, por ejemplo, tiene que soportar, como sabemos, unas presiones elevadísimas. Si entre la cara de la espiga y su asiento se depositan impurezas de muy pequeño tamaño, pero sólidas, se producen rayaduras microscópicas que dificultan la estanqueidad necesaria y activan el goteo. También las bombas de inyección poseen válvulas y contactos entre piezas que requieren ajustes de milésimas y que la presencia de estas impurezas puede perturbar.

Por si ello fuera poco, hay que contar también en este aspecto del filtrado, con la mayor densidad del gasóleo con respecto a la gasolina. Al ser ésta más ligera las partículas sólidas se decantan con gran rapidez y pasan al fondo del depósito que las contiene. En el gasóleo este proceso dura mucho más tiempo porque las partículas flotan con mayor facilidad y les cuesta más llegar a un pozo de sedimentos que se les haya preparado. La necesidad de buenos filtros se hace pues, muy necesaria en los motores Diesel para la mejor limpieza del combustible.

Además de las impurezas existen dos factores que hay que tener muy en cuenta: estos factores son el agua y el aire. Estos elementos pueden hallarse

mezclados con el combustible y provocar importantes irregularidades en el funcionamiento del equipo de inyección y por extensión en el motor térmico.

Pequeñas cantidades de agua repartidas entre el combustible y difícilmente apreciables a la vista, pueden ocasionar el mal engrase de determinados y delicados mecanismos de la bomba de inyección que, como sabemos, se lubrica por el poder engrasante del combustible. La presencia de agua, combinada a veces con el azufre que contiene el gasóleo, puede ocasionar un ácido muy corrosivo que puede dañar partes vitales en el funcionamiento de la bomba. También durante el frío del invierno, el agua puede llegar a helarse produciendo pequeñas partículas de hielo que ya podemos imaginarnos las dificultades que pueden ocasionar en el interior de un circuito hidráulico de una bomba de inyección o de un inyector.

En cuanto al aire ya sabemos también los malos efectos que produce en el interior de todo circuito hidráulico como, por ejemplo, en los frenos de los automóviles. Bolsas de aire en un circuito hidráulico significan fallos importantes de transmisión de la presión porque estas bolsas de aire se comprimen al recibir la presión y ésta no se transmite íntegramente o incluso, a veces, deja de transmitirse por completo según la importancia de estas bolsas de aire. Por ello todo mecánico sabe de la necesidad de purgar el aire de un circuito hidráulico de frenos, y del mismo modo ocurre en el circuito hidráulico de una bomba de inyección.

Los filtros de los motores Diesel deben conseguir, de la mejor manera posible, cumplir los objetivos de la eliminación de todos estos inconvenientes, es decir, las impurezas, el agua y el aire. Para ello disponen de los elementos necesarios y de los dispositivos adecuados que vamos a estudiar seguidamente. Como hemos visto en el esquema del circuito de alimentación que presentamos en la pasada figura 23 un circuito de este tipo bien atendido dispone por lo menos de dos filtros: el llamada prefiltro (2) que tiene la misión de un filtro de decantación que sirve para eliminar las partículas más gruesas que pueda contener el combustible; y un segundo y principal filtro (4) al que se le encargan las demás misiones que hemos considerado como fundamentales. Por esta razón vamos a proceder al estudio de la constitución interior de los filtros dividiéndolo en las dos partes siguientes:

- Prefiltros
- Filtros principales

Veámoslo pues, por este mismo orden.

Prefiltros

Al tratarse de filtros de decantación, los prefiltros suelen tener una campana de cristal transparente para mostrar a la vista el estado de los sedimentos que se van depositando en el fondo. En la figura 27 se puede ver un filtro de este tipo.

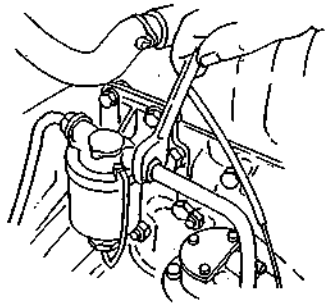


Figura 27. Prefiltro con campana de cristal.

La mayoría de los prefiltros que se utilizan en los motores de automóvil suelen ser como el despiezo de uno de ellos que se muestra en la figura 28. En A tenemos un dibujo del prefiltro completo que vemos consta de una tapa (9) a la que van acoplados el vaso de cristal del filtro (3) sujeto por una horquilla (1) que se halla encajada por una parte en la tapa y por otra en la base

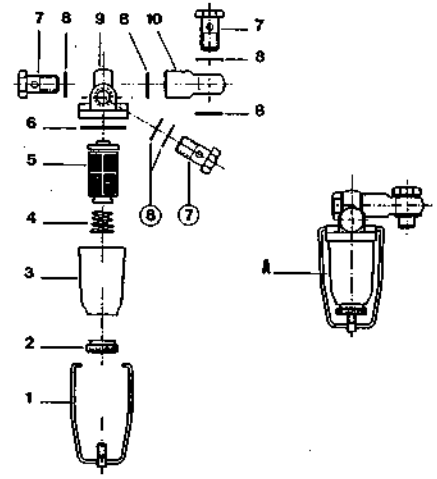


Figura 28. Despiezo de un prefiltro completo. A, conjunto montado. 1, horquilla. 2, tuerca moleteada. 3, vaso. 4, muelle del filtro. 5, filtro. 6, junta. 7, racores. 8, arandelas de junta. 9, tapa del filtro. 10, racor orientable.

del vaso por medio de una tuerca moleteada (2) de sujeción. En el interior del vaso se encuentra un filtro (5), generalmente de nylón, apoyado a un muelle (4) por el que se verá obligado a pasar todo el gasóleo que circule a través de este filtro. Las conexiones se efectúan a través de unos racores (7) provistos de sus correspondientes juntas (8) para conseguir una perfecta estanqueidad que haga imposible la entrada de aire al interior del circuito.

La limpieza de estos prefiltros suele recomendarse cada 20.000 km recorridos, pero depende también de los sedimentos que se observen en la parte baja del vaso transparente, los cuales vienen determinados por la eficacia del prefiltro o por la suciedad del gasóleo. Para desmontar el prefiltro en la parte de su vaso de sedimentos basta con aflojar la tuerca moleteada (2) con lo que el vaso se irá desprendiendo de su asiento en la tapa del filtro (9). El vaso podrá retirarse por completo para efectuar su limpieza con toda comodidad. Cuando se proceda al montaje de nuevo hay que cerciorarse de que la junta de goma (6) asiente perfectamente en la tapa y en los bordes superiores del vaso para asegurar la estanqueidad tan necesaria durante el funcionamiento de todo el circuito hidráulico. Luego bastará con colocar de nuevo la horquilla (1) y apretar la rueda moleteada (2) para que el vaso quede firmemente instalado.

Esta limpieza deberá incluir también al filtro de nylón (5) que puede extraerse generalmente desenroscándolo y que debe limpiarse con un cepillo de pelo o con un pincel debidamente sumergido en gasolina limpia o en petróleo. Posteriormente al montaje es seguro que habrá quedado aire en el circuito y será necesario proceder a un sangrado del modo que ya se dirá.

Filtros principales

El filtro principal de un circuito de alimentación en un motor Diesel resulta una pieza primordial para el funcionamiento de todo el sistema hasta el punto de que cortísimos períodos de tiempo de funcionamiento del motor sin la utilización del elemento filtrante podrían ser suficientes para inutilizar por completo no sólo a los inyectores sino a la misma bomba de inyección. Su importancia, por más que se diga, nunca será exagerada. De hecho, en la medida en que un filtrado se realiza de un modo perfecto cabe esperar un funcionamiento del motor sin perturbaciones y durante muchos miles de kilómetros, ya que todo desgaste de bomba de inyección e inyectores ha de venir especialmente de la cantidad de impurezas microscópicas, pero en estado sólido, que contenga el combustible consumido. De ahí la importancia que el diseño y el buen estado de conservación de estos filtros presenta.

Además de la función primordial de retener aquellas partículas que tengan un tamaño superior a una milésima de milímetro también deben estar diseñados de modo que puedan separar el agua que pudiera contener el combustible y cuyos efectos perniciosos ya hemos descrito anteriormente. A ello hay que unir todavía la necesidad de que dispongan de un sistema de purgado del aire para evitar las burbujas de éste que puedan formar parte del líquido

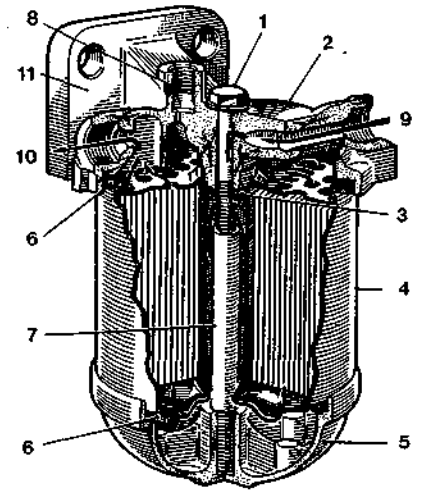


Figura 29. Vista seccionada de un filtro con cartucho de papel. 1, perno central. 2, cabeza. 3, anillo. 4, cartucho intercambiable. 5, base. 6, anillos de cierre. 7, espárrago central. 8, alojamiento del tornillo de purga de aire. 9, entrada del combustible. 10, salida del combustible una vez filtrado. 11, brida de montaje.

en la aspiración de la bomba de alimentación, además de su facilidad de limpieza y mantenimiento.

Un filtro corriente de este tipo podemos verlo en la figura 29 perteneciente a la marca CAV-CONDIESEL de tipo FS, de papel. Consta de una parte fija, o cabeza (2) que se halla sujeta a cualquier parte del motor por medio de tornillos desde su brida de montaje (11). Consta de una segunda parte o cuerpo (4) acoplado desde una base (5) por medio de un tornillo central (1) que se rosca a un espárrago central (7) para que todo el conjunto se muestre rígido y además pueda ser desmontado para su limpieza como veremos más adelante.

La entrada del combustible se efectúa por 9 empujado por la bomba de alimentación y después de haber sufrido la acción del prefiltro que ya hemos descrito en su momento. El combustible se ve forzado a bajar por el conducto que le presenta la parte central del filtro, en las proximidades del espárrago central (7), del modo que las flechas de la figura indican. Al llegar a la parte de la base sufre un violento giro que lleva al combustible de nuevo hacia arriba. En este giro se centrifugan las partículas de agua que el combustible pudiera llevar consigo, ya que al ser el agua más pesada que el gasóleo las partículas de aquélla se van al fondo del recipiente. El gasóleo, por su parte, se ve forzado a atravesar el cartucho de papel filtrante que se halla tratado con

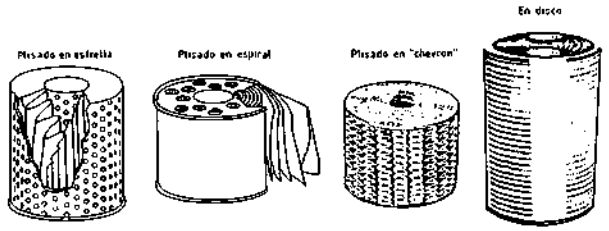


Figura 30. Diversos tipos de cartuchos de recambio de diferentes tipos de plisados.

resinas especiales, y asciende de nuevo a la parte alta del filtro para salir por el conducto (10) hacia la bomba de inyección.

Unos anillos de cierre, tanto en la parte alta como en la baja, señalados en la figura con el número 6, aseguran la estanqueidad tan necesaria de las diferentes partes del filtro. Estos anillos son de goma sintética. De igual modo, un anillo tórico (3), también de goma sintética, impide el paso del gasóleo que entra a la cámara superior a la que debe llegar solamente el combustible filtrado.

Por último, tenemos en esta misma figura 29, el orificio señalado con el número 8 correspondiente al lugar donde se encuentra el tornillo de purga de aire que en este dibujo ha sido retirado.

Por supuesto, el elemento más importante del conjunto del filtro principal está compuesto por el cartucho filtrante, que es aquel elemento que el combustible ha de atravesar para dejar en él las impurezas más diminutas que lleva consigo. Lo distintivo de estos elementos es el material con el que están construidos y la forma de plisado en que el material está dispuesto. En lo que respecta al material, se suele utilizar el tipo de papel sometido a un baño de resinas sintéticas que en cuanto está mojado dispone de poros muy pequeños a través de los cuales puede pasar el líquido pero impidiendo el paso de partículas sólidas, aunque extraordinariamente pequeñas. Sin embargo, también pueden encontrarse filtros a base de fieltro y otros materiales también muy efectivos.

La otra característica importante es la forma del plisado, es decir, la forma como está plegado el papel. El objeto de este plisado es obtener una superficie de filtrado muy grande manteniendo un mínimo tamaño. En la figura 30 se pueden ver diversos tipos de plisados mediante los cuales se obtiene esta condición.

La limpieza de estos filtros es muy sencilla pues únicamente requiere el cambio del cartucho filtrante por otro en estado nuevo, ya que los filtros de papel no pueden limpiarse (cosa que, sin embargo, sí puede hacerse en los

filtros de fieltro). El desmontaje del filtro se hace a través del tornillo central que puede desenroscarse con la ayuda de una llave de estrella tal como se está haciendo en la figura 31; y a partir de la retirada de este tornillo ya puede sacarse el cartucho filtrante usado y puede ser sustituido por otro nuevo del mismo tamaño y disposición, tal como se hace con los filtros de aceite que ya conocemos en los motores de explosión de automóvil. La precaución importante que hay que tener en cuenta durante el montaje consiste en la buena colocación de las juntas para que el asiento del cartucho nuevo asegure la estanqueidad del conjunto. También, durante el desmontaje, se ha de tener cierta precaución de dar un pequeño giro al cartucho para desasirlo de la arandela tórica en el momento de su retirada, pues es conveniente que esta arandela o anillo quede en el interior.

Antes de efectuar el desmontaje del filtro es muy buena práctica limpiar escrupulosamente todos sus alrededores con un trapo limpio para eliminar todo tipo de suciedad que pudiera penetrar inadvertidamente en cualquier zona interna durante el desmontaje.

Los filtros que no son de cartucho intercambiable, si bien son los menos en los motores de automóvil, pueden también formar parte de los circuitos de alimentación de motores Diesel ligeros, y los usan especialmente los motores de la casa MERCEDES-BENZ. En estos casos el elemento filtrante tubular es de fieltro y todo consiste en someterlo a un lavado que reúne ciertas características especiales que vamos a comentar seguidamente. Supuesto que el desmontaje se efectúa de un modo parecido, en cuanto el elemento filtrante de fieltro ha salido de su alojamiento se le proporciona una limpieza previa para la cual se prepara primero el cartucho con dos tapones que obturen completamente el paso por el orificio del centro del cartucho. A continuación se cepilla el elemento con un cepillo de pelo o con un pincel y con abundante gasóleo o petróleo limpios siempre por la parte exterior cuidando mucho de que el líquido usado para la limpieza no pueda penetrar al interior a menos

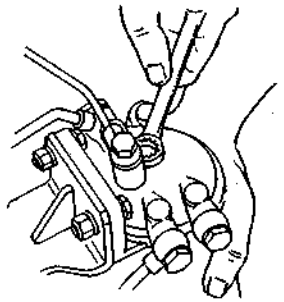


Figura 31. Modo de proceder al desmontaje del filtro.

Figura 32. Preparación del cartucho filtrante de fieltro para su limpieza con aire comprimido que se aplica desde el interior al exterior.

que no sea a través del fieltro (para que esto se cumpla así hemos puesto los tapones previos).

Una vez limpia toda la parte exterior se procede a la limpieza desde el interior al exterior. Para ello se puede utilizar un sistema semejante al mostrado en la figura 32, que consiste en un tapón hermético para una parte extrema y otro provisto de un tubo desde el que se pueda hacer pasar aire comprimido, del modo que ya se ve en la figura citada. En estas condiciones se sumerge la parte exterior en gasóleo limpio hasta que el fieltro quede bien empapado del combustible. Luego se saca de este baño y se le aplica aire comprimido por el tubo. Este aire comprimido sale con fuerza desde el interior al exterior y arrastra todas las minúsculas impurezas que hubieran quedado aprisionadas en el fieltro durante el funcionamiento habitual del filtro. Ello se delata por la presencia de burbujas de espuma que deberán lavarse de nuevo con el pincel como en el lavado previo. Luego se deja que el cartucho se empape de nuevo de gasóleo limpio y se vuelve a aplicar el aire comprimido, repitiéndose todas las operaciones descritas anteriormente. Estas operaciones se efectúan unas 4 ó 5 veces garantizándose de este modo la total limpieza del fieltro con un 100 % de efectividad con respecto a un cartucho nuevo.

Por último hagamos una advertencia final. El uso del aire comprimido ha de llevarse a cabo siempre desde el interior al exterior, del modo que se ha descrito, pero nunca al revés, es decir, no hay que aplicar aire comprimido desde el exterior del cartucho hacia su interior pues ello podría degenerar sus cualidades de filtrante.

En todos los casos de desmontaje y limpieza de los filtros se tendrá que proceder a la purga del circuito para eliminar todo resto de aire que ha penetrado sin duda en el interior del circuito. Esta es la operación que vamos a describir seguidamente.

Purga de aire en el circuito de alimentación

Como ya se ha dicho en otras ocasiones, en el circuito hidráulico debe haber una total ausencia de burbujas o depósitos de aire y para eliminarlos del todo se precisa hacer una operación llamada de *purga* por medio de la cual se eliminan los vestigios de aire que se hayan introducido en el circuito, cosa que ha de llevarse a cabo no solamente cuando se desmontan los filtros o cuando se han observado fugas por la zona de los racores, sino también en

el caso en que, por descuido del conductor, se haya llegado a consumir todo el combustible del depósito, situación a la que un buen conductor de un vehículo equipado con motor Diesel no debe llegar nunca voluntariamente. También puede darse el caso de necesitar efectuar la purga del circuito cuando el motor ha permanecido parado durante mucho tiempo.

En principio, la presencia de aire en cantidad pequeña en unión del combustible dificulta mucho la puesta en marcha y si el motor arranca puede provocar un fuerte golpeteo así como una falta de potencia manifiesta como resultado de una mala dosificación del combustible por mezcla de aire en el volumen aportado del mismo.

La operación de purgar el circuito la debe saber hacer incluso el usuario del motor por las razones que se han expuesto. En el caso de las bombas rotativas es una operación que se lleva a cabo del modo siguiente:

En la figura 33 tenemos el momento en que se está aflojando el tornillo superior de la válvula de aireación de la bomba rotativa con la ayuda de una llave fija. A continuación se procede a aflojar también el tornillo de purga del filtro principal, del modo que muestra la figura 34.

Acto seguido se acciona la palanca manual de cebado de la bomba de alimentación para que ésta mande combustible a través de todo el circuito. Esta operación se está llevando a cabo en la figura 35. Cuando el circuito comienza a cebarse el gasóleo sale por los orificios de las válvulas de aireación. Hay que conseguir que salga sin burbujas y completamente líquido, en cuyo momento se procederá al cerrado de los tornillos comenzando primero por el de la bomba y luego por el del filtro.

Será conveniente también asegurarse de que la entrada de combustible a la bomba esté en perfectas condiciones de sangrado. En algunos casos se

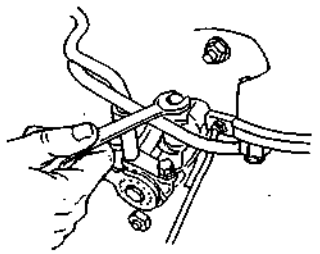


Figura 33. Para proceder a la purga del circuito se comienza por aflojar el tornillo superior de la válvula de aireación de la bomba rotativa.

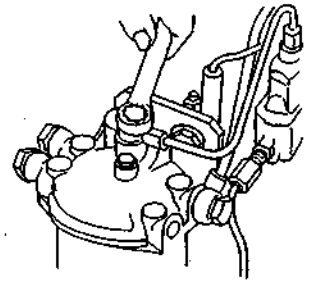


Figura 34. Aflojando el tornillo de purga del filtro principal.

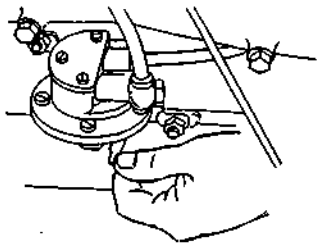


Figura 35. Accionamiento del mando manual de cebado de la bomba de alimentación.

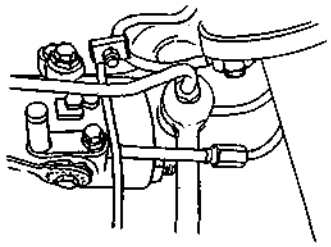


Figura 36. Comprobación del estado de sangrado de la entrada del combustible a la bomba de inyección aflojando ligeramente el racor.

puede comprobar esta situación aflojando el racor de entrada del combustible a la bomba, tal como muestra la figura 36, y accionando la palanca manual de cebado ver que el combustible salga sin burbujas por este punto en cuyo momento se procederá a reapretarlo. Con ello se podrá dar por terminada la operación en estas bombas rotativas.

En las bombas en línea la operación es básicamente la misma pero vamos a poner unas figuras que aclaren esta situación en este mismo tipo de bombas. En la figura 37 tenemos el filtro principal de un motor MERCEDES en el que

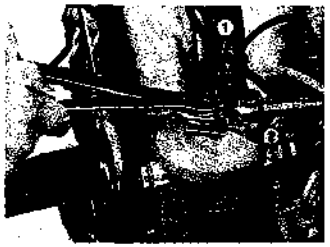


Figura 37. Aflojando un tornillo de purga con contratuerca en un filtro principal.

Figura 38. Elementos que hay que accionar para el purgado de una bomba en línea. 1, tornillo de purga de la bomba de inyección. 2, tuerca moleteada para el accionamiento manual de la bomba de alimentación.

se está aflojando el tornillo de purga (1) mientras con otra llave se sujeta la contratuerca tensora (2). En este caso es preciso darle una o dos vueltas al tornillo de purga.

A continuación se pasa al lugar donde se encuentra la bomba de inyección en línea, tal como la podemos ver en la figura 38, y se desenrosca la tuerca moleteada (2) que, como puede apreciarse, corresponde a la bomba manual de la bomba de alimentación, y desde aquí se bombea varias veces hasta que por el tornillo de purga del filtro principal fluye el gasóleo sin burbujas. En este momento se deberá cerrar el paso apretando el tornillo del filtro.

Para purgar la bomba de inyección se dispone también de un tornillo de purga colocado en ella, que podemos ver en la figura 38 señalado con el número 1. Se afloja este tornillo y se bombea combustible del mismo modo que acabamos de explicar, es decir, bombeando desde la bomba manual de cebado a través de su palanca (2). También aquí se tendrá que esperar a que el combustible llegue a fluir libre de burbujas en cuyo momento se procederá a apretar el tornillo de purga (1).

Una vez terminado el bombeo con la bomba manual se tendrá que apretar de nuevo la tuerca moleteada para conseguir el cierre hermético de este dispositivo. Al apretar la tuerca moleteada se comprime el émbolo contra el anillo de junta y la instalación de la bomba manual queda totalmente estanca permitiendo el funcionamiento general de la bomba accionada por el movimiento del eje de levas de la bomba de inyección. Si esta tuerca moleteada quedase floja sería fácil que se produjeran fugas durante el funcionamiento normal y también sería seguro que entraría aire en el circuito con las consiguientes dificultades de funcionamiento del motor.

En muchos casos resulta conveniente poner la cremallera de las bombas de inyección en línea en posición de paro para facilitar la acción del sangrado. También puede ocurrir a veces que la bomba manual de cebado no actúe porque la leva de la bomba de alimentación no se encuentra en una posición favorable. En este caso basta con darle un golpe de motor de arranque para que el motor dé unas vueltas y cambie con ello la situación de la leva. Ello ya será suficiente.

Cuando el sistema de inyección ha sido desmontado completamente y por lo tanto los tubos de combustible han sido vaciados por completo, y todo ello se tiene que volver a montar de nuevo, es necesario proceder al cebado de todos los tubos para que el motor pueda ponerse en funcionamiento. Un cebado inicial puede llevarse a cabo con la ayuda de la batería, manteniéndola conectada al motor de arranque por lo menos un minuto seguido. Sin embargo, esta operación puede hacerse también por medio de la bomba manual de cebado aunque ello, en las bombas en línea, requiere desmontar la tapa de inspección lateral (Fig. 39) y apretando el acelerador a fondo para poner la cremallera en posición de máximo caudal. Se busca un émbolo inyector que se encuentre en su PMI y, con la ayuda de un destornillador, se presiona el muelle para que se abra la válvula de impulsión. Bombeando entonces desde la bomba de cebado se va llenando de combustible todo el conducto. Sucesivamente se irá realizando la misma operación con todos los demás émbolos

Figura 39. Forma de abrir la válvula de impulsión para que la tubería se llene de combustible en una bomba de inyección en línea.

inyectores encontrando siempre su PMI a base de hacer mover el eje de levas de la bomba hasta que presenten esta condición.

Con lo dicho damos ya por terminado este capítulo dedicado al circuito de alimentación y a los inyectores. Como quiera que aquí ya hemos hablado también de la parte práctica que corresponde a los trabajos a llevar a cabo con estos elementos no volveremos a hablar de ellos salvo en el capítulo de averías y donde volveremos a referirnos a ellos como causantes de dificultades en el motor.

8

PUESTA A PUNTO DE MOTORES DIESEL

Por puesta a punto de motores se entiende encontrar el punto de sincronización de los diversos dispositivos fundamentales gracias a los cuales el motor puede funcionar. En el motor de explosión hay tres zonas en las que tenemos que actuar para la correcta puesta a punto: De una parte, en la puesta a punto del encendido, es decir, conseguir que la chispa salte en el momento exacto necesario con relación a la carrera del émbolo. Otra puesta a punto ha de llevarse a cabo con la carburación para conseguir que la dosificación de la mezcla se corresponda con la cantidad de aire aspirado y las necesidades del motor. Por último, también hay que poner a punto la distribución, es decir, el momento en que las válvulas de admisión y de escape han de abrirse con relación a la posición del émbolo en su carrera. Coordinar todos estos movimientos es lo que se entiende por poner a punto un motor.

En el caso de los motores Diesel ya hemos dicho que la función del encendido y de la carburación está encomendada a un solo circuito, que en este caso es el de inyección, de modo que la puesta a punto debe entenderse solamente desde dos puntos de vista compuestos por las siguientes partes:

- Puesta a punto de la inyección
- Puesta a punto de la distribución

Pues bien: a estos dos puntos vamos a dedicarnos en este capítulo que sobre todo en lo referente a la inyección presentará novedades para el mecánico acostumbrado a tratar con los motores de explosión de los automóviles.

Puesta a punto de la inyección

Como quiera que la parte substancialmente diferente entre el motor Diesel y el motor de explosión está constituido por el sistema de inyección (incluso la inyección aplicada a los motores de explosión parte de otros supuestos diferentes de la inyección de los motores Diesel) conviene que el mecánico acostumbrado a reparar los motores de gasolina tenga unos conocimientos bastante extensos de lo que es este sistema, al igual que debe tener unos buenos conocimientos sobre lo que es y cómo funciona el encendido y el carburador. Pero al igual que ocurre con el motor de gasolina en que vemos que existen casas especializadas en la reconstrucción y puesta a punto de los carburadores, también existen, y con mayor razón, casas especializadas en la revisión y puesta a punto de las bombas inyectoras que, como se ha visto, son dispositivos de una gran precisión mecánica e hidráulica. Para la comprobación de estas bombas se precisa de equipos especiales (bancos de prueba) que por su elevado precio tampoco serían rentables en un taller dedicado a la reparación de motores, de modo que el sistema más corriente cuando se advierte que una bomba no funciona bien, o cuando se sabe que ha realizado muchos miles de kilómetros y se sospecha que requiere una revisión a fondo, consiste en mandar la bomba de inyección a un taller especializado para su comprobación y puesta a punto. Ello es algo semejante con lo que suele hacerse con un carburador cuando se advierte que puede tener entradas de aire adicionales u otros defectos reparables y detectables con la ayuda de aparatos de comprobación adecuados.

De todos modos, el mecánico tiene que saber cómo es una bomba de inyección por dentro, porque solamente conociendo cómo se produce su funcionamiento se puede pensar cuáles son las razones por las que presenta determinados síntomas de mal funcionamiento. A ello hemos dedicado dos anteriores capítulos para describir las bombas de inyección en línea y las rotativas, que son los dos sistemas que podemos encontrar en los motores Diesel construidos para equipar a los automóviles. Los conocimientos adquiridos con anterioridad van a servirnos de base para saber, ante determinados fallos, si la bomba puede ser reparada en nuestro propio taller o, por el contrario, será necesario llevarla a un taller especializado para que se lleve a cabo una revisión a fondo de su estado.

Puede también ocurrir que la bomba se halle en perfectas condiciones, pero lo que se tenga que hacer con ella es sincronizarla conveniente y correctamente con el estado de giro del motor, y este trabajo de puesta a punto sí es de exclusiva responsabilidad del mecánico ya que tiene la misma categoría que la puesta a punto del encendido, por ejemplo, en los motores de gasolina.

De acuerdo con todo este planteamiento vamos a hablar algo de lo que debe ser un taller especializado en la reparación y puesta a punto de bombas de inyección, por una parte, y por otra, vamos a extendernos lo más posible en el estudio de la puesta a punto de una bomba aplicada a un motor en concreto que es la operación que un mecánico debe dominar con mayor soltura para lograr el irreprochable funcionamiento de un motor en lo que respecta

a esta parte. En su consecuencia, vamos a dedicar esta parte del presente capítulo al estudio de la bomba de inyección vista desde los dos ángulos siguientes:

- Puesta a punto y comprobación sobre el banco
- Puesta a punto en el motor.

Pasemos al estudio de cada una de estas partes por separado.

Puesta a punto y comprobación sobre el banco

Los locales donde se encuentre un taller especializado en bombas de inyección deben reunir unas condiciones de limpieza excepcionales, pues las más pequeñas partículas de polvo pueden dañar a las delicadas piezas que se encuentran dentro de una de estas bombas. Por esta razón son siempre locales independientes en donde exclusivamente se trabaja con las bombas de inyección e inyectores. Hay que desconfiar de talleres sucios en los cuales no se respeta esta regla fundamental.

Otra importante garantía de su buen quehacer estará representada por el tipo de aparatos de comprobación de que disponga. Resulta indispensable disponer de un buen banco de pruebas para bombas de inyección o en su defecto de todos los aparatos de comprobación que un banco de pruebas integra. Pero, desde luego, es más aconsejable disponer de un buen banco capaz de integrar todas las comprobaciones que es preciso realizar en una bomba para comprobar su perfecto funcionamiento. En la figura 1 tenemos uno de estos bancos de prueba para bombas en el que se halla montada una bomba rotativa para su comprobación. Dispone de una serie de inyectores maestros (1), de pruebas, a los que hay que acoplar las salidas de inyección de la bomba. En 2 vemos el cuadro de aparatos de control que dan indicación al mecánico de las condiciones en que se está efectuando la prueba. Por otra parte, un juego de probetas graduadas (3) pueden hacer medición exacta de la cantidad de combustible que a cada inyección proporciona cada uno de los inyectores. Por último, en 4, tenemos el lugar de colocación de los soportes especiales para el acoplamiento de las diferentes bombas que en este tipo de bancos pueden irse colocando de diferentes modelos.

Los bancos de pruebas deben poder llevar a cabo las seis siguientes operaciones de control que se citan a continuación:

- Puesta en fase entre sí de los elementos de la bomba
- Calibrado e igualación de los caudales de cada elemento de la bomba
- Reglaje del regulador
- Control del funcionamiento del avance automático
- Control del funcionamiento de la bomba de alimentación
- Determinación o cálculo del punto de inyección al primer cilindro.

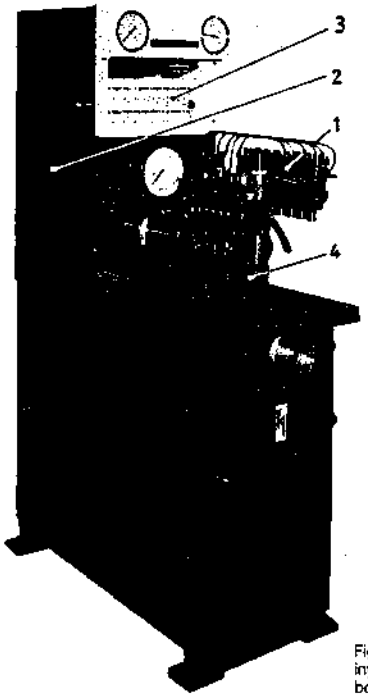


Figura 1. Banco de pruebas de bombas de inyección de la marca HARTRIDGE con una bomba rotativa montada.

Además de ello deben disponer de los dispositivos adecuados para asegurar la exactitud de sus pruebas. Así, deben estar provistos de un sistema de calefacción, provisto de termostato, para mantener en el combustible las condiciones semejantes de viscosidad a que va a ser utilizado en la práctica. Por cierto que, a este respecto, muchos bancos suelen utilizar un aceite especial que resulta inodoro y no mancha y mantiene las mismas propiedades que el gasóleo, por medio del cual se puede sustituir perfectamente a éste en todos los trabajos de prueba y comprobación. Además irán provistos de un motor eléctrico, un variador de velocidad con su correspondiente cuentavueltas, un cuenta-emboladas de disparo automático, un manómetro medidor de depresión, etcétera, todo lo cual resulta necesario para llevar a cabo las funciones

que hemos relacionado anteriormente, y que con brevedad vamos a estudiar acto seguido.

Puesta en fase entre sí de los elementos de la bomba

La puesta en fase de los elementos de la bomba consiste en conseguir que cada elemento de la bomba esté calado de una forma tal que comience la inyección con un ángulo exacto con respecto al principio de la inyección que se ha producido en el elemento precedente. Por ejemplo, en una bomba de cuatro elementos, preparada por lo tanto para alimentar a un motor de cuatro cilindros, tiene que disponerse de un defasaje de 90 ° a cada una de las inyecciones que se producen en cada elemento. Aunque la disposición de las levas en el eje de levas de las bombas ya está dispuesto para lograr esta condición, el caso es que los émbolos inyectores, provistos de muelle, pueden tener un ligero defasaje producido por el juego de estas piezas. Las bombas inyectoras disponen de una tuerca y contratuerca situadas sobre el empujador para permitir llevar a cabo este ajuste. En otros casos existen unas arandelas de diferente espesor que pueden intercambiarse entre el platillo inferior del muelle y el reborde del empujador.

La comprobación de que la puesta en fase entre sí de los elementos de la bomba está en buen estado se lleva a cabo por medio del banco de pruebas y puede hacerse por dos procedimientos, el primero, llamado a presión, de comprobación mecánica, y otro por medio de una lámpara estroboscópica que muchos bancos llevan también incorporada. Veamos cada uno de estos sistemas por separado.

La puesta en fase a presión se realiza del siguiente modo: Una vez colocada la bomba en el banco de pruebas se conecta el primer elemento de la bomba a una herramienta especial llamada cuello de cisne (Fig. 2) la cual dispone del correspondiente racor para llevar a cabo su conexión a la salida de la bomba. La utilidad de esta herramienta es conocer el momento en que se

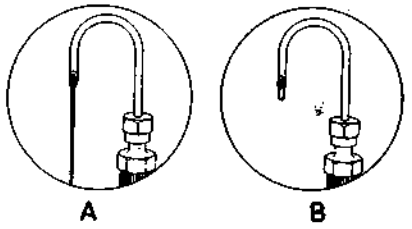


Figura 2. Cuello de cisne. A, salida de combustible durante la inyección. B, cese de la inyección y goteo lento.

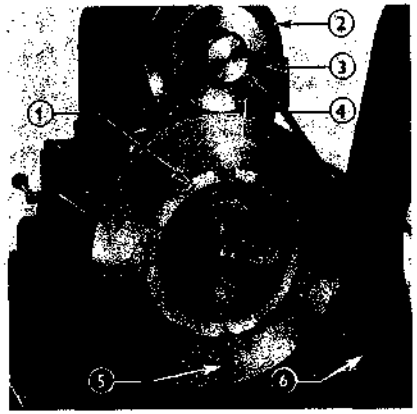


Figura 3. Comprobación de la puesta en fase de la bomba de inyección. 1, anillo de puesta en fase. 2, polea de 1.000 r/min. 3, polea de 600 r/min. 4, polea de 200 r/min. 5, índice fijo. 6, tapa de las poleas de transmisión.

inicia la inyección y el momento en que cesa sin necesidad de demasiada presión como ocurriría de llevar el inyector montado.

Así pues, con el cuello de cisne acoplado al primer elemento se hace girar la bomba debidamente alimentada de combustible y éste saldrá a chorro cada vez que su cilindro correspondiente actúe accionado por la leva. Hay que tomar nota del punto exacto en que deja de gotear el combustible por el cuello de cisne para poder controlar el punto exacto de la carrera de ascensión del émbolo, en este primer elemento y que corresponde al inicio de la inyección. Se mantiene fija esta posición y se desplaza el anillo graduado de puesta en fase que el banco posee hasta que su cero quede frente al índice fijo. En la figura 3 tenemos este aparato de comprobación. El anillo graduado de puesta en fase (1) debe hacer coincidir el momento indicado con el índice fijo (5).

Después de esta primera toma de referencia se pasa a montar el cuello de cisne en el siguiente elemento de la bomba de acuerdo con el orden de encendido del motor. Haciendo la misma comprobación el índice fijo (5) y el anillo graduado (1) deben coincidir en la misma posición exactamente que se señaló en la primera prueba. Y de igual modo han de coincidir los restantes elementos. Si ello no es así, será necesario ir corrigiendo ya sea por arandelas calibradas o por el sistema de tuerca y contratuerca la posición de los elementos que no coincidan hasta conseguir una puesta en fase totalmente correcta de todos los elementos.

La comprobación de la puesta en fase por medio de una lámpara estroboscópica es otra solución todavía más precisa que la anterior para llevar a cabo este trabajo, ya que la lámpara estroboscópica no puede cometer posibles

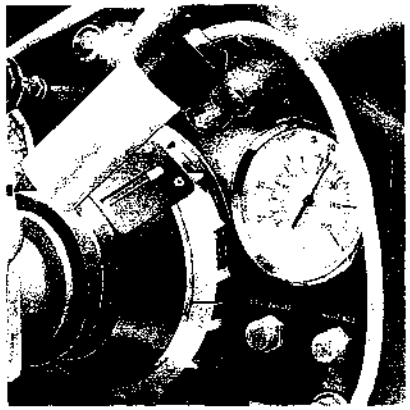


Figura 4. Utilización de la lámpara estroboscópica para la puesta en fase de los elementos de la bomba.

errores de apreciación para determinar el momento exacto del inicio de la inyección. Sin embargo es necesario que el banco de pruebas esté facultado para llevar a cabo esta prueba por sus medios ya que se precisa de la ayuda de unos inyectores disparadores que indiquen el momento del inicio de la inyección por medio de una señal eléctrica. En la figura 4 podemos ver el momento de llevar a cabo una de estas pruebas con la lámpara. Se dirige la luz de ésta sobre un disco graduado que dispone de un índice que nos sirve de referencia para apreciar el valor del ángulo en cada destello de la lámpara estroboscópica. Si hay coincidencia es señal de que la puesta en fase resulta correcta.

La prueba realizada por este procedimiento resulta muy segura porque aquí es el propio banco de pruebas el que arrastra la bomba y reproduce así las condiciones normales de funcionamiento.

Calibrado e igualación de los caudales de cada elemento de la bomba

Para el buen funcionamiento del motor resulta de gran interés que la cantidad de combustible aportado por cada inyección, a una posición igual de la cremallera de dosado, sea lo más exactamente igual posible para cada uno de los cilindros del motor. Cuando las bombas salen de fábrica han sido debidamente verificadas para cumplir con este requisito, pero con el tiempo y las muchas horas de funcionamiento puede haber sufrido movimiento sus ajustes y ya no darse las condiciones deseables en este aspecto. Por ello resulta necesario verificar este caudal por medio del banco de pruebas.

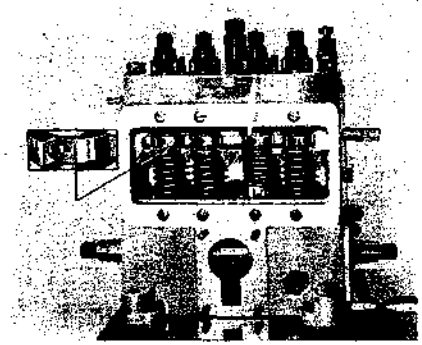


Figura 5. Líneas de ajuste sobre los sectores y las camisas de regulación de una bomba en línea.

Una vez montada la bomba en las condiciones habituales para la comprobación se hace que el caudal suministrado por cada elemento vaya a parar a unas probetas graduadas transparentes, después de un número determinado de inyecciones. En las probetas graduadas se tiene constancia exacta del caudal acumulado por cada inyector y con ello se puede conocer con exactitud no solamente cuál es el elemento que inyecta proporcionalmente mayor caudal sino también la cantidad en que lo hace.

En el supuesto de que se observen irregularidades en el aspecto a que nos venimos refiriendo será preciso reajustar la posición del manguito dentado que acciona la cremallera en aquellos elementos que proporcionen un caudal mayor o menor del esperado. En la figura 5 vemos que se halla señalada con una línea la posición del manguito dentado. Se debe aflojar el tornillo que sujeta el manguito y moviéndolo, de manera que haga variar la posición de la rampa helicoidal del émbolo inyector con relación a la lumbrera de admisión, se podrá ganar o reducir el valor del caudal aportado.

A este respecto hay que indicar que muchas bombas llevan señales de fábrica por medio de las cuales se indica la posición correcta de los manguitos. Por supuesto que si al desmontar la bomba se observa que algún elemento está desajustado, de modo que las señales no coincidan, esa será la causa de la mala sincronización de la bomba. Pero puede darse perfectamente el caso de que las señales coincidan y el caudal proporcionado por la bomba sea incorrecto, anomalía que se ha llegado a producir por el desgaste de las muchas horas de funcionamiento. En este caso conviene ajustar de nuevo la bomba y hacer nuevas marcas para asegurar el montaje y la comprobación de sucesivas verificaciones.

La igualación de los caudales de cada elemento de la bomba debe llevarse

a cabo con los datos proporcionados por el fabricante para el modelo concreto con el que estamos trabajando pues es importante tener los datos del caudal que ha de proporcionar cada elemento y a la velocidad que ha de hacerlo ya que de otro modo se podría caer en el error de tomar como ejemplo un elemento —ya sea el que proporcione mayor o menor caudal— que no sea el correcto, y dejar la bomba demasiado corta o demasiado larga de combustible.

Reglaje del regulador

Todos los bancos van provistos de los suficientes elementos para la comprobación de los reguladores, pero ello es un trabajo que presenta cierta complejidad y que queda en manos de los especialistas. Debido a que los reguladores pueden ser de muchos tipos, con notables diferencias constructivas entre ellos (recordemos que los hay mecánicos centrífugos de máxima-mínima, de regulación continua, neumáticos, hidráulicos, etcétera, y aún dentro de ellos de diferentes diseños) sería ahora demasiado extenso describir la revisión en el banco de todos los modelos. Por otra parte, en el momento en que efectuamos el estudio de los reguladores ya indicamos las zonas de reglaje en cada una de las palancas que los forman o en los topes de los recorridos de las mismas, según los casos.

El especialista en la comprobación de las bombas de inyección efectúa operaciones como las siguientes en su verificación de los reguladores: Comprueba que la bomba proporcione el caudal normal a las velocidades de servicio sin que las palancas se vean entorpecidas en su recorrido. Por otra parte, se comprueban también los puntos del principio y final del corte del combustible teniendo en cuenta las velocidades a regular. A estas velocidades a regular se debe ir llegando para ver a qué vueltas comienza a actuar sobre la dosificación y a qué vueltas termina la carrera. La diferencia de estas dos velocidades ya da una idea del grado de irregularidad a las distintas velocidades.

También se requieren otras verificaciones como el caudal de ralentí, que se comprueba a bajas vueltas, y el caudal de tope, que debe proporcionar un caudal de alrededor de un 20 % superior al caudal de plena carga.

El equilibrado de las masas centrífugas suele estar previsto por medio de arandelas de suplemento calibradas que actúan sobre los muelles de las masas centrífugas, pero todos estos trabajos, repetimos, son propios del especialista y van mucho más allá de lo que puede pedirse a un mecánico de motores Diesel.

No todos los bancos van provistos de los suficientes aparatos para la comprobación de todo tipo de reguladores. Ya sabemos que los neumáticos trabajan de una manera muy diferente a los mecánicos y ambos, a los hidráulicos. Solamente unidades muy completas son capaces de proporcionar los suficientes datos para la reparación de todo tipo de reguladores. Por esta razón a veces se encuentran aparatos de comprobación separados del banco que son especialmente adecuados para las verificaciones de otros tipos de reguladores.

Control del funcionamiento del avance automático

Esta operación se suele efectuar con la ayuda de un estroboscopio por medio del cual, y durante el giro de la bomba, se puede comprobar la curva de avance. Con la ayuda de este aparato la operación resulta bastante sencilla. Durante el montaje del disparador del estroboscopio hay que tener la precaución de colocar éste lo más cercano posible a la bomba de inyección para evitar los fenómenos estáticos que se producen debido a la longitud de las tuberías. Posteriormente, los destellos de la lámpara irán determinando el grado de avance a cada una de las r/min de la bomba que se establecen en la prueba. Estos datos deben poseerse del fabricante.

Control del funcionamiento de la bomba de alimentación

Si por cualquier circunstancia la bomba de alimentación ha tenido que ser desmontada resulta del todo necesario proceder a la comprobación y ajuste de su funcionamiento. Los bancos van provistos de dispositivos para llevar a cabo esta verificación. Estos dispositivos permiten el control de la corrección en el funcionamiento de la bomba especialmente en lo que respecta a la aspiración, a la presión de impulsión y, en algunos modelos, incluso al caudal, datos que hay que cotejar con los proporcionados por el fabricante de la bomba en concreto para determinar su buen estado.

Determinación o cálculo del punto de inyección al primer cilindro

Para efectuar la puesta a punto de un sistema de inyección con un motor es preciso conocer con toda exactitud dos datos iniciales: De una parte dónde está el PMS del émbolo del primer cilindro del motor (para a través de este punto exacto poder darle los grados de avance exactos en los que debe iniciarse la combustión). Por otra parte hemos de conocer con no menos exactitud el momento en que la bomba de inyección está preparada para lanzar la inyección de su primer elemento que ha de alimentar a este primer cilindro que ya tenemos en su punto de avance inicial. La sincronización de estos dos puntos es lo que recibe el nombre de puesta a punto de la inyección. En este aspecto la puesta a punto es semejante a lo que ocurre en los motores de gasolina con el encendido: el émbolo del primer cilindro hay que colocarlo en sus grados de avance y en este momento los contactos del ruptor deben separarse para producir la inducción en la bobina, de modo que una chispa de alta tensión salte entre los electrodos de la bujía. Continuando con esta comparación podríamos decir que el distribuidor es como la bomba de inyección y hemos de saber cuál es el punto de inicio de la inyección para determinar su sincronización con el giro del motor.

De acuerdo con ello, después de haber desmontado una bomba o de haberla modificado en su posición de caudal convendrá efectuar unas marcas

Figura 6. Bomba de inyección preparada para su puesta a punto.

que determinen con toda exactitud el punto de inicio de la inyección para el primer cilindro ya que, como se verá, a partir de este dato, se procederá a su posterior sincronización con el motor térmico.

En las bombas en línea o múltiples existen varios procedimientos para determinar el punto exacto de inyección en las condiciones a que nos estamos refiriendo. Uno de ellos se lleva a cabo por la utilización de un cuello de cisne, y es el más corriente aunque hay otros que se llevan a cabo con la ayuda de un tubo visor capilar. Veamos el primero de estos procedimientos.

En la figura 6 tenemos el montaje típico para una de estas pruebas. Al primer elemento de la bomba de inyección se le ha montado un cuello de cisne (1) después de haber desmontado previamente el racor y la válvula de impulsión para facilitar la salida del gasóleo que llega a la bomba desde el orificio de alimentación gracias al acoplamiento de un depósito auxiliar (2) que contiene el combustible.

En estas condiciones se coloca el elemento número 1 de la bomba, en el que se ha montado la herramienta del cuello de cisne, en su posición de PMI y la cremallera en su posición de caudal máximo asegurándose de que se mantenga en esta posición. Ahora ya se puede abrir el grifo del depósito auxiliar por lo que el combustible saldrá por el cuello de cisne con un chorro conti-

nuo, del modo que muestra el dibujo A de la figura 2. En un primer momento podrá salir con burbujas de aire, pero hay que esperar a que salga con un chorro compacto para hacer girar lentamente el eje de levas de la bomba en su sentido de giro de funcionamiento hasta que llegue el exacto momento en que, por el cuello de cisne el chorro no solamente se reduzca sino que lleguen a salir solamente unas gotas (dibujo B de la figura 2) y con una periodicidad de entre 15 y 20 segundos de una a otra. Cuando este goteo se produzca de este modo estamos en el punto exacto del inicio de la inyección de esta bomba ya que es el momento en que el pistón inyector obtura la lumbrera de entrada del combustible.

En este punto conviene hacer una marca que nos servirá para conocer con toda exactitud el inicio de la inyección en el primer elemento y que automáticamente corresponderá a todos los restantes de la bomba.

El trabajo puede darse por acabado con la señalización de las marcas. Sin embargo hay que tener en cuenta que algunas bombas de inyección en línea pueden estar construídas de manera que el principio de la impulsión sea variable mientras el final de la impulsión sea fijo. Las bombas de este tipo deben calarse por el mismo procedimiento que acabamos de explicar con la variante de que hay que seguir girando el eje de levas cuando ya se haya encontrado el principio de la inyección y observar, por el cuello de cisne, la salida del combustible correspondiente a la inyección completa. Cuando cesa de salir el líquido la bomba se encontrará al final de la impulsión y este será el calado de estas bombas.

En lo que respecta a las bombas rotativas ya veremos en el próximo apartado la forma de efectuar directamente su calado al motor. Hasta aquí nos hemos estado refiriendo a los trabajos efectuados en el banco para las revisiones y puesta a punto de las bombas, cosa que hemos hecho de una manera simplemente orientativa para el mecánico, pero ahora, a continuación, vamos a ver ya la puesta a punto de la inyección con el motor, que es la segunda de las partes en que dividimos este estudio desde el principio del capítulo.

Puesta a punto en el motor

La última parte de lo que acabamos de explicar enlaza con lo que va a decirse en esta parte. Allí ya quedó claro cuál es el objeto de la puesta a punto y la forma como la bomba de inyección ya nos viene determinada con sus marcas de puesta a punto. Ahora hay que aplicarla al motor y ello es nuestro objetivo en este momento.

Antes de continuar debemos dividir este estudio en dos partes diferentes que vienen determinadas por la puesta a punto de las bombas en línea y la de las bombas rotativas ya que el procedimiento en ambos casos es diferente y requiere un estudio por separado. Vamos a comenzar primero con el estudio de la puesta a punto de las bombas en línea ya que enlaza con lo que se acaba de explicar en el anterior apartado.

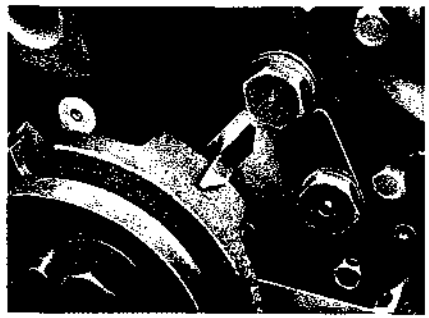


Figura 7. Marcas e índice de referencia sobre el disco equilibrador del cigüeñal para la puesta a punto.

Puesta a punto de las bombas en línea con el motor

Esta operación guarda gran similitud con la puesta a punto que se realiza con los motores de explosión con la diferencia de tener que trabajar con la bomba de inyección en vez de hacerlo con el distribuidor. Por lo tanto se precisa conocer de antemano el avance inicial ya sea en grados o en milímetros que el motor en concreto tiene de acuerdo con su diseño, dato que siempre figura en el manual de taller del motor proporcionado por el fabricante. Una vez conocido este dato se busca la carrera de compresión del primer cilindro y antes de llegar a su PMS, en la cantidad de grados determinada, se detiene el émbolo de modo que el motor queda preparado para la sincronización de la inyección. Pongamos un ejemplo para mayor claridad. Supongamos que el manual de taller nos indica que el avance inicial de calado de un motor es de 25 grados antes del PMS. En la figura 7 tenemos un ejemplo de marcas indicadoras en un motor de la marca MERCEDES que se hallan colocadas sobre el disco equilibrador del cigüeñal y que se enfrentan a cada giro con un índice fijo que señala el estado de la carrera en que se encuentra el émbolo. Aquí hay señales que indican el mismo PMS y luego, 10, 20, 30 etc. grados antes del PMS con señales intermedias para conocer con exactitud la posición del citado émbolo. Se trata pues de enfrentar el índice a la señal que corresponda a los 25 grados antes del PMS para tener en condiciones de sincronización al motor.

Por otra parte se prepara la bomba de inyección de forma que coincidan las marcas de principio de inyección que ya vimos le fueron colocadas cuando se hizo la revisión de la bomba fuera del vehículo. En esta posición se procede a la colocación de la bomba en su lugar de ubicación en el motor. En la figura 8 tenemos el extremo de una bomba en la que se halla señalado o marcado

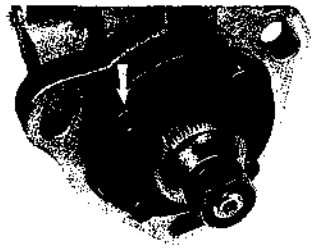


Figura 8. Marca en uno de los dientes de la corona de arrastre que coincide con la posición de un tornillo (señalado por la flecha).

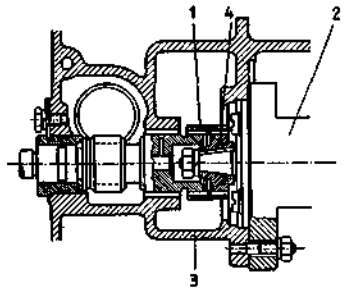


Figura 9. Sección del acoplamiento de una bomba de inyección con el eje de arrastre. 1, casquillo de acoplamiento. 2, bomba de inyección. 3, bloque. 4, corona de arrastre.

uno de sus dientes de la corona de arrastre coincidiendo con la posición de un tornillo para conocer con exactitud la posición de inicio de la inyección.

El esquema de un acoplamiento típico de estas bombas en línea lo tenemos ahora en la figura 9. En 2 tenemos la bomba de inyección que se acopla al bloque (3) por medio de tornillos. La corona de arrastre que vimos en la figura 8, la tenemos aquí señalada con el número 4 y se encaja con el elemento tractor a través de otro engranaje de igual número de dientes que se sujeta por medio de un casquillo (1) de acoplamiento. Hay que cuidar, al realizar esta operación de acoplamiento que el casquillo se encuentre correctamente montado, pero los espárragos o tornillos de sujeción de la bomba deben coincidir con el centro de sus orificios ovalados y no con alguno de sus extremos, y deben montarse sus arandelas correspondientes y sus tuercas hexagonales ligeramente apretadas por el momento.

La causa de este montaje provisional es porque, si bien teóricamente el montaje ya debería ser correcto, en la práctica es posible que se tengan que hacer modificaciones muy ligeras en la posición de la bomba, para lo cual dispondremos de la posición relativa que ofrecen los orificios ovalados de sujeción que vimos en la figura 8, con relación a la posición de anclaje que los tornillos presentan. En efecto: una puesta a punto no puede darse por buena si no se tiene la certeza de que la inyección se inicia exactamente en el punto de los grados de avance que el émbolo del motor requiere, de modo que resulta imprescindible volver a hacer la prueba con la herramienta del cuello de cisne para tener la absoluta seguridad del momento en que se produzca el inicio de la inyección. Ello quiere decir que hay que sacar el empalme del primer elemento de la bomba, retirar la válvula de impulsión y atornillar en

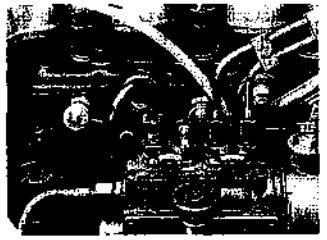


Figura 10. Montaje del cuello de cisne en el primer elemento de la bomba para efectuar su puesta a punto.

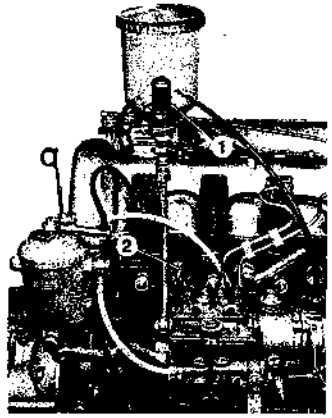


Figura 11. Después de desmontar el racor de entrada de combustible a la bomba de inyección, se procede a sustituirlo por un depósito auxiliar (1). En 2 tenemos ya montada la herramienta de cuello de cisne para llevar a cabo la comprobación.

cuello de cisne, del mismo modo que se muestra en la figura 10, y preparar además la bomba con un recipiente auxiliar de combustible acoplado a la entrada de alimentación, del mismo modo que ya describimos al hablar de esta operación con la bomba independiente del motor. En la figura 11 podemos ver este montaje típico en donde, en 1, se ha señalado el depósito auxiliar y en 2, la herramienta de cuello de cisne. Antes de comenzar a realizar la operación de puesta a punto se deberá tener la seguridad de que la palanca de ajuste y barra cremallera se hallen en posición de plena carga.

Una vez realizados todos los preparativos anteriores se hace girar el cigüeñal en su sentido de giro, con cuidado y lentamente, hasta conseguir el goteo que ya se describió en el cuello de cisne. Esto nos indicará con toda exactitud el momento del inicio de la inyección. En este punto se comprueba que el indicador que se enfrenta con el disco equilibrador del cigüeñal coincida con la señal de los 25 grados de adelanto antes del PMS en la carrera de compresión.

Si se produce esta coincidencia con exactitud puede decirse que la inyección está perfectamente sincronizada. Sin embargo es buena norma hacer ex-

tensiva la comprobación a una segunda prueba que consistirá en hacer girar el cigüeñal dos vueltas más siguiendo siempre el sentido de giro para ver si en una segunda inyección también hay coincidencia. Para ello, al llegar al PMS de la segunda vuelta, se extremará el cuidado y la lentitud en el giro del cigüeñal observando la reacción del cuello de cisne. En el momento del goteo se comprueba de nuevo el índice y si coincide a los 25 grados, que es el ejemplo de ajuste que hemos puesto en este motor, podrá tenerse la seguridad de que la puesta a punto es correcta.

Si no coincidiera, tanto en la primera como en la segunda vuelta, entonces puede accionarse la bomba aflojando las tuercas que provisionalmente la fijaban, y se puede hacer girar ligeramente la bomba a través de los orificios ovalados que vimos en la figura 8 lo que supone adelantar el comienzo de la inyección o retrasarla según se gire a izquierda o a derecha con un pequeño juego que debe ser suficiente para que su calado sea correcto. Para hacer esta nueva comprobación se acude al mismo procedimiento que ya conocemos, es decir, a girar lentamente el cigüeñal observando el momento del goteo del cuello de cisne y comprobando a continuación la indicación del índice.

Cuando se haya encontrado el punto exacto, o que esté dentro de la tolerancia proporcionada por el constructor del motor, se procederá al apretado firme de las tuercas hexagonales de fijación de la bomba consiguiendo que ésta no haga movimiento, con lo que la operación de calado podrá darse por terminada en esta primera parte.

Acto seguido se tendrá que proceder a desmontar el depósito auxiliar y unir en el racor de entrada de la bomba el tubo de alimentación, generalmente procedente del filtro principal. De igual modo se sacará la herramienta de cuello de cisne, se colocará la válvula de impulsión con la mayor limpieza posible, y se colocará el tubo de alimentación del primer inyector apretando convenientemente el racor de unión.

Llegados aquí es preciso hacer algunas precisiones que todo operario ha de tener en cuenta cuando realice estas operaciones. En primer lugar, el motor ha de hacerse girar siempre en su sentido normal de giro y nunca a la inversa pues podría perjudicarse el regulador mecánico en sus masas centrífugas. En segundo lugar, los fabricantes recomiendan siempre el uso de llaves dinamométricas para conseguir el apretado correcto de tuercas y racores. Un apriete excesivo puede perjudicar a la bomba y un apriete exiguo puede ser causa de fugas o entradas de aire que hagan el funcionamiento del circuito irregular. Por ello se recomienda el uso de determinados pares de apriete que se facilitan en el manual de taller del motor en concreto. En tercer lugar, y por último, cabe hacer la advertencia que esta puesta a punto también puede hacerse sin utilizar el depósito auxiliar que hemos visto en la figura 11. De hecho, cuando la bomba no ha sido desmontada del motor y se quiere comprobar el buen estado de la sincronización puede sustituirse el depósito auxiliar por el sistema de abrir el tornillo de purga del filtro principal (del modo que se estudió en la figura 37 del pasado capítulo 7). En este caso el combustible que queda en el circuito da para una o dos comprobaciones con el cuello de cisne montado del modo que se vio en la figura 10. Cuando el combustible se acaba en la

prueba se ha de proceder al rellenado del filtro por medio de la bomba manual de alimentación.

La operación de puesta a punto finaliza con el sangrado del circuito de combustible de la bomba de la forma que ya se indicó en su momento, y con el montaje de los cables del arrancador y parada o stop en la palanca de la bomba de inyección. También se tendrá que comprobar que los tubos de impulsión que trasladan el combustible a los inyectores después de la bomba estén bien colocados, de modo que no obstaculicen una posible necesidad de extracción de las bujías de precalentamiento.

Como comprobación final se deberá poner el motor en marcha y verificar que la estanqueidad de todas las uniones de la bomba y de sus racores sea completa no sólo a régimen de marcha en vacío sino también a régimen máximo tanto a plena carga como sin ella.

Con esto se da por terminado el trabajo de puesta a punto de una bomba de inyección en línea. Pasemos a continuación a ver la forma de llevar a cabo esta misma operación con una bomba rotativa.

Puesta a punto de las bombas rotativas con el motor

Cuando, en su lugar correspondiente, estudiamos la constitución de las bombas rotativas ya vimos que existen dos sistemas bien diferenciados de bombas de este tipo constituidos por los diseños básicos de la casa inglesa CAV y por los llevados a cabo por la casa alemana BOSCH. Estos diferentes diseños comportan también una diferente forma de llevar a cabo la puesta a punto general de estas bombas de modo que nos va a ser necesario distinguir el trabajo que hay que llevar a cabo con uno u otro modelos. Para explicar la puesta a punto vamos a comenzar primero por el sistema de llevarlo a cabo en las bombas de la marca CAV, y especialmente del modelo DPA, cuya constitución ya describimos en otro lugar, y que, como se dijo allí, es uno de los modelos más corrientes en la versión de las bombas rotativas utilizadas hasta el momento.

Puesta a punto de las bombas CAV, modelo DPA

Estas bombas poseen una llamada «tapa de inspección» que se encuentra en la parte lateral de las mismas. Generalmente esta tapa va precintada por el fabricante para asegurarse de que la bomba no es manipulada a menos que no lo sea por un servicio oficial para con ello dar servicio durante el periodo de garantía. Sin embargo, para la puesta a punto de la inyección resulta necesario tener acceso a las señales marcadas en el interior del modo que vamos a ver.

En la figura 12 se presenta un dibujo en el que se destaca la posición de la tapa de inspección desmontada con las letras y marcas que se observan en el interior de la bomba para facilitar su puesta a punto. La forma de proceder será la siguiente:

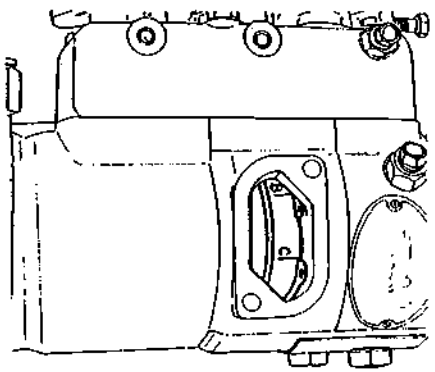


Figura 12. Aspecto de una bomba DPA una vez desmontada la tapa de inspección mostrando sus marcas interiores de puesta a punto.

En primer lugar se gira el motor hasta que el émbolo número 1 se encuentre en su posición PMS y durante el tiempo de compresión. (A este respecto hay que tener cuidado a lo indicado por el manual del taller pues se da con frecuencia el caso de que algunos motores hagan la puesta a punto desde el cilindro número 4, tal como ocurre en los motores Diesel grandes de la marca PEUGEOT.)

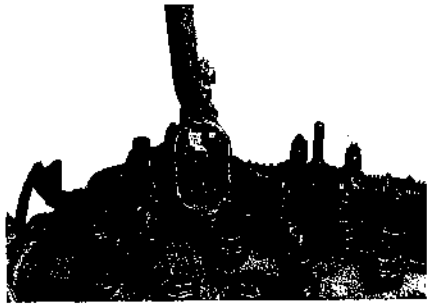


Figura 13. Desmontaje completo de la válvula de escape del primer cilindro para proceder a la puesta a punto de la inyección.

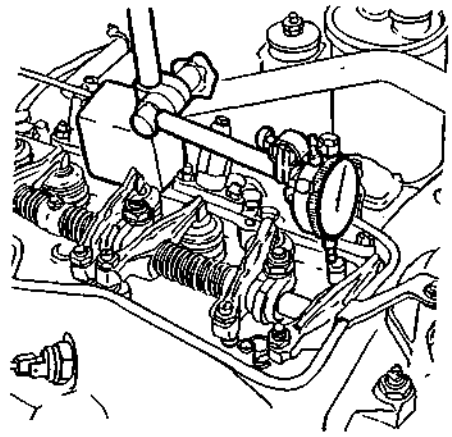


Figura 14. Colocación de un comparador en el extremo de la cola de la válvula de escape para comprobar por medio de su movimiento la situación exacta del émbolo en su carrera.

Acto seguido y después de haber desmontado la tapa de balancines, se afloja el tornillo de ajuste de la válvula de escape del citado cilindro número 1, se desplaza el balancín a un lado en su eje de balancines y queda a la vista la cola de la válvula de escape. La operación siguiente va a consistir en desmontar el muelle de la válvula por el procedimiento habitual y que puede verse en la figura 13. Una vez retirado el muelle, como quiera que el émbolo lo tenemos en PMS, la válvula cae pero su cabeza se apoya sobre la cabeza del émbolo sosteniéndose de esta manera.

Ahora conviene efectuar el montaje de un comparador cuyo palpador se apoye sobre la cabeza de la válvula libre. Esto es lo que se está haciendo en la figura 14. Recordemos que el émbolo lo tenemos en el PMS de modo que la válvula va a servirnos para conocer los mm de desplazamiento del émbolo en su carrera y para indicarnos el punto de avance inicial con toda exactitud. Así pues, manteniendo el émbolo en PMS colocamos el reloj del comparador a cero ya que nos hallamos en el punto de máxima elevación.

Para encontrar el momento exacto del avance inicial de inyección se ha de conocer previamente los milímetros de la carrera del émbolo a que debe producirse, dato proporcionado en los datos técnicos del motor en concreto. Suponiendo, por ejemplo, que esta cifra pueda establecerse en 0,80 mm según los datos proporcionados por el constructor, se gira el motor en dirección contraria a la de su rotación normal una cantidad como de 10 ó 12 mm y luego se recupera lentamente, en la dirección de giro propia del motor en funcionamiento hasta que el reloj del comparador señala los 0,80 mm requeridos en esta operación de puesta a punto. Con ello se eliminan los posibles

juegos internos del tren alternativo que pudieran dar una lectura falsa de la medición y ésta se hace solamente en sentido contrario de giro.

En el momento en que, por medio del comparador, hayamos determinado el punto correcto de la carrera del émbolo se deberá mirar a través de la tapa de inspección de la bomba para comprobar si la marca «C» en el rotor de la misma queda alineada con el extremo recto del anillo de reglaje, tal como hemos visto en la pasada figura 12. Si esto es así, el reglaje de la bomba es correcto, pero si no hay coincidencia quiere ello decir que la sincronización deberá revisarse del modo que vamos a ver a continuación.

Para ajustar perfectamente la bomba hasta el punto correcto de inyección se deben aflojar las tuercas de sujeción de la bomba, una de las cuales vemos en la figura 15 señalada con la letra T, y mover ligeramente la bomba dentro del espacio que queda en el orificio ovalado en el que se aloja el espárrago de la citada tuerca (T) hasta conseguir que coincidan la marca «C» con el extremo recto del anillo de reglaje, en cuyo momento se aprietan las tuercas hexagonales y la bomba queda sincronizada exactamente con el giro del motor, en el supuesto de que conservemos la medida de la carrera del émbolo en las condiciones indicadas al principio y perfectamente señaladas por el reloj del comparador.

Si con el pequeño movimiento del espárrago en el orificio ovalado de sujeción no se consiguiera la coincidencia de las marcas en la bomba, ello sería causa de un mal montaje de la misma a través de su engranaje de arrastre (2, en la figura 16) el cual pudo haber sido mal calado con respecto a los demás engranajes de la transmisión. Como que estos engranajes van provistos de marcas de coincidencia conviene comprobar que estas marcas se hallen alineadas todas en un momento determinado de su giro que lo indicaría el estado de sincronización de cigüeñal-distribución y bomba de inyección.

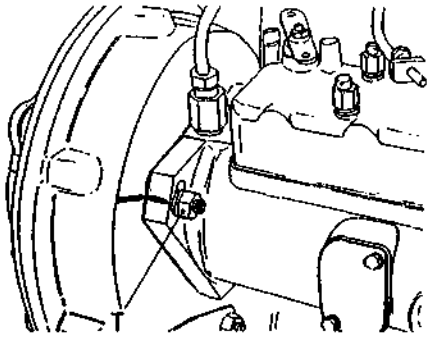


Figura 15. La tuerca (T) de sujeción de la bomba puede desplazarse dentro de su orificio ovalado dando la posibilidad de modificar la posición de la bomba con respecto a su calado con el eje de accionamiento.

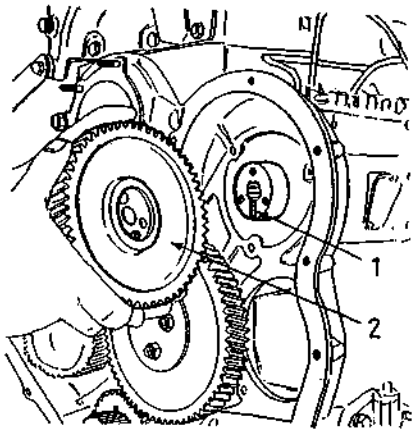


Figura 16. El extremo de la bomba (1) se debe ajustar al engranaje de arrastre (2) el cual debe estar a su vez calado con el resto de los engranajes de la distribución y el piñón de salida del cigüeñal.

Una vez ajustadas las marcas en la bomba y apretadas las tuercas del modo que se ha indicado, la puesta a punto puede considerarse acabada. Se precisa desmontar el comparador y proceder al montaje del muelle de la válvula, con su platillo, semiconos, etcétera y ajustarla al balancín correspondiente. No hace falta decir que, utilizando este procedimiento, hay que tener muchísimo cuidado de que el motor no mueva el cigüeñal y con ello desplace el émbolo del cilindro donde se halla la válvula de escape desmontada pues podría llegar a darse el caso de que la válvula cayera al interior del cilindro. Ello significaría un trabajo adicional importantísimo consistente en el desmontaje de la culata para recuperar la válvula caída. De modo que hay que asegurarse de que el émbolo solamente pueda moverse unos pocos milímetros.

La utilización del comparador para conocer el movimiento exacto del émbolo es la forma más precisa de puesta a punto; sin embargo hay motores que lo hacen más fácil con marcas en el volante. En realidad estas bombas de inyección se ponen a punto, como puede verse, de un modo muy parecido a como se hace en los motores de gasolina con el distribuidor, es decir, el giro del mismo determina la puesta a punto.

Puesta a punto de las bombas del tipo DPC

En los motores modernos ligeros que equipan a los automóviles son muy corrientes las bombas de inyección de la misma marca inglesa, o de sus filia-

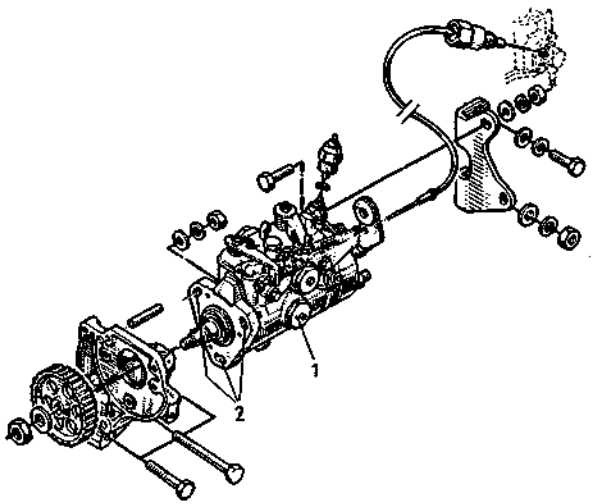


Figura 17. Bomba de inyección rotativa de la marca ROTO-DIESEL. 1, tapa de inspección. 2, orificios ovalados de fijación.

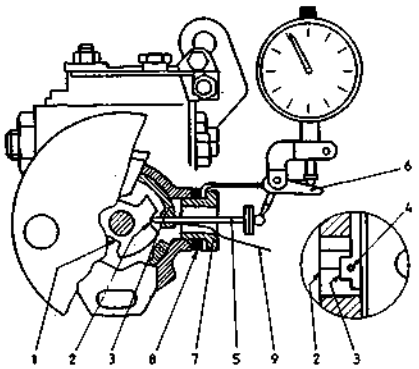


Figura 18. Montaje del comparador con una herramienta de soporte especial a través del orificio de inspección.

Figura 19. Así queda en la realidad el montaje de la figura anterior.

les, del tipo DPC que es una variante del tipo DPA ya descrito. Sin embargo, la puesta a punto difiere en el procedimiento del explicado para la DPA por lo que nos vemos obligados a extendernos un poco más en este aspecto y hacer una nueva descripción de la puesta a punto de estas bombas.

En la figura 17 se muestra el aspecto exterior de una bomba de este tipo de la marca ROTO-DIESEL. En lo que respecta a la puesta a punto hay que destacar la tapa de inspección (1) y los orificios ovalados de fijación (2) que nos van a proporcionar la base de las comprobaciones de calado de la bomba y también su posicionado del modo que vamos a ver.

En primer lugar tendremos que proceder al desmontaje de la tuerca (1) que constituye la tapa de inspección para la puesta a punto de esta bomba. Luego será necesario proceder al montaje de un aparato especial provisto de comparador, cuyo esquema se muestra en la figura 18. Resulta importante comprender bien esta figura para entender la puesta a punto de esta bomba, cosa que puede resultar fácil ya que el dibujo está seccionado y muestra el interior de la bomba con su rotor (1). Este rotor posee una forma especial con una rampa (2) que es la que indica el punto exacto del inicio de la inyección. Por otra parte, consta de una arandela Seeguer (3) que además de su función sujetadora está colocada de una manera precisa para que su orificio (4) sirva de orientación a un palpador especial de comprobación (5) haciendo las veces de guía para buscar el punto de la rampa (2) que indica el inicio de la inyección. Es muy importante no forzar la posición de esta arandela Seeguer (3) pues es la base de una buena puesta a punto.

Por otra parte se dispone de todo el soporte que ha de servir para sujetar al comparador y que consta de una serie de palancas (6) sujetas a una tuerca del mismo paso a la de la tapa de inspección que retiramos (se ha señalado esta tuerca con el número 7 en la figura 18) la cual va provista además de su correspondiente arandela (8) para su buen ajuste en el orificio. Por último, cabe destacar la presencia de la aguja (9) que facilita la operación de comprobación. En la práctica este utillaje puede verse en su totalidad en la figura 19 montado ya sobre una bomba de inyección de este tipo.

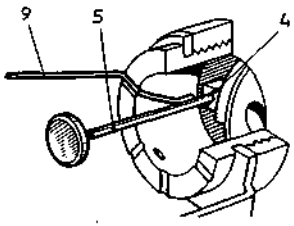


Figura 20. Detalle del calado de la bomba ayudándose del palpador especial de comprobación (5). Por medio de la aguja (9) se puede retirar al palpador de su ajuste en el orificio (4) de comprobación.

La forma de operar para la puesta a punto, después de haber efectuado el montaje del utillaje que se ha descrito en la figura 18, se lleva a cabo del siguiente modo: En primer lugar hay que encontrar la posición más baja de la rampa (2) a la que se ajuste el palpador (5) del modo que se representa en la figura. Para ello se moverá la bomba pero con mucho cuidado de que el palpador se encuentre conectado con el rotor (1) cuando la bomba se esté accionando pues podría romperse. Por esta razón dispone de la aguja (9) que retira el palpador de su unión con el rotor cuando se coloca del modo que se ha dibujado en la figura 20, posición que debe adoptar siempre que la bomba se esté moviendo.

Una vez localizada la rampa (2, en la figura 18) hay que conseguir, por medio del reloj del comparador, encontrar el punto más bajo de la misma, con lo cual tendremos el punto exacto del inicio de la inyección por parte de la bomba.

Por otro lado esta operación se habrá hecho con el cilindro número 1 del motor manteniendo el émbolo en el tiempo de compresión y en las proximidades del PMS. La coincidencia del punto de inyección de la bomba con las marcas de puesta a punto del volante del cigüeñal o con la medición de su carrera del modo indicado por el fabricante, nos dará la seguridad de que el calado de la bomba es correcto o no, según la posición resultante.

En el caso de que no lo sea se puede modificar la posición de la bomba con respecto a su rotor a través de las tres tuercas de fijación y los orificios ovalados de ubicación (tal como vimos en 2 de la figura 17) con lo que se puede obtener la corrección suficiente para conseguir una correcta puesta a punto.

Con esto terminamos con la descripción de la puesta en fase de las bombas de la marca CAV y sus derivadas y pasemos al estudio de las de la marca alemana BOSCH.

Puesta a punto de las bombas Bosch VE

Cuando estudiamos la constitución de las bombas rotativas ya vimos que las de la marca BOSCH trabajan de un modo diferente a las que acabamos de

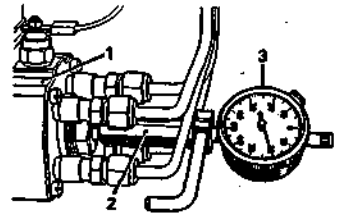


Figura 21. Adaptación de un comparador a la cabeza de una bomba de inyección de la marca BOSCH para comprobar la posición exacta del pistón inyector de estas bombas. 1, bomba de inyección. 2, adaptador. 3, reloj comparador.

describir. Por lo tanto también su puesta a punto ha de presentar ciertas diferencias. Vamos a estudiarlas a continuación.

Dado el hecho de que las bombas BOSCH trabajan por medio de un pistón inyector, y dado el hecho de que la medición del inicio de la inyección ha de hacerse a través de este pistón, estas bombas van provistas de un tornillo central que puede ser sustituido por un adaptador al que se le coloca un comparador, por medio del cual se conoce exactamente el movimiento del citado pistón inyector. En el pasado capítulo 6 pudimos ver la posición de este tornillo en las figuras 25 y 29 entre otras, y ahora, en la figura 21 tenemos representada la cabeza de una bomba rotativa de este tipo (1) de la que ha sido retirado el tornillo central y ha sido sustituido por el adaptador (2) a cuyo extremo se encuentra el reloj comparador (3) que va a servirnos para localizar la posición correcta del pistón inyector.

La puesta a punto puede llevarse a cabo por medio del sistema del desmontaje de la válvula de escape en el primer cilindro cuando se trata de motores que así lo indica el fabricante, o bien por medio de marcas en la polea del cigüeñal, al igual que ocurre con los motores de gasolina. En este segundo caso la puesta a punto es muy sencilla. Se coloca el émbolo del cilindro número 1 en PMS de su carrera de compresión. Luego se gira en sentido contrario observando en el comparador el punto donde se encuentra el PMI del pistón inyector de la bomba de inyección. Cuando se sabe seguro, por la indicación del reloj del comparador cuál es el PMI citado, se pone a cero el comparador.

A continuación se comienza a subir lentamente el émbolo del motor hasta conseguir que la marca de la polea del cigüeñal y la indicación del avance inicial de la inyección coincidan perfectamente, tal como es el caso dibujado en la figura 22, que en este motor en concreto se establece a 25 grados antes del PMS.

En esta posición hay que mirar lo que indica el comparador montado sobre la bomba ya que su indicación ha de corresponder exactamente a la medida proporcionada por el fabricante del motor y que forma parte de los datos de reglaje. Si, por ejemplo, en esta posición, el fabricante autoriza un movimiento del pistón inyector de 0,30 mm y esta es la posición que marca

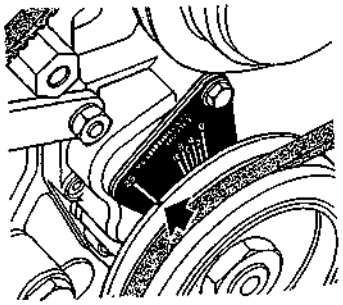


Figura 22. Marcas de puesta a punto en la polea del cigüeñal y en la placa fija. La flecha indica el punto de puesta a punto de la inyección en este motor determinado.

el reloj del comparador la puesta a punto será correcta. Si no fuera así se haría necesario actuar sobre los tornillos de fijación de la bomba (figura 23) aflojando las tres tuercas (A) y girando ligeramente la carcasa de la bomba hasta que la lectura del comparador sea la correcta, momento en que las tuercas deben apretarse para que quede en fase con el motor.

Generalmente las bombas llevan unas marcas (B) entre su carcasa y la parte fija del motor sobre la que se apoyan. Estas marcas, cuando coinciden, indican la correcta posición de la bomba con respecto a la sincronización del motor. Sin embargo, es el comparador el que manda y pueden haberse modificado esta posición, por lo que puede llegar a ser necesario que estas marcas no coincidan para llevar a cabo una buena puesta a punto.

Antes de terminar el tema de la puesta a punto de estas bombas digamos que existen también aparatos electrónicos para la puesta a punto de la inyección los cuales hacen el trabajo, si cabe, todavía más fácil y de gran seguridad y eficacia. En la figura 24 tenemos una pistola estroboscópica para estos fines en los motores Diesel. Consta de unos adaptadores que se conectan al inyector número 1 y desde él recibe las pulsaciones básicas para determinar los destellos de la lámpara estroboscópica. Por este procedimiento no solamente se comprueba el avance inicial de la manera corriente, es decir, aplicando los destellos a la polea de giro del cigüeñal y a sus marcas, sino que puede comprobarse el funcionamiento del avance de inyección.

Otros reglajes para la puesta a punto

Una vez terminados los trabajos de sincronización del giro de la bomba con el giro del motor convendrá también llevar a cabo el ajuste del cable de la marcha en vacío o ralentí y el ajuste del cable del dispositivo de anticalado.

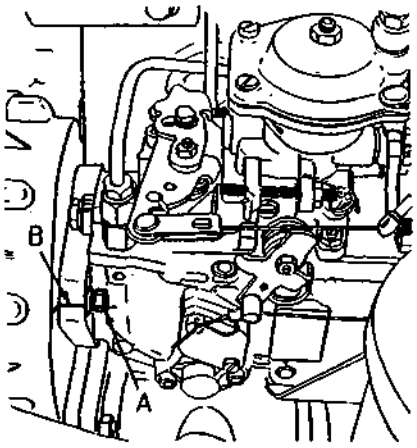


Figura 23. Tornillos de fijación en una bomba BOSCH. A, tornillo. B, marcas de puesta a punto que pueden tener que modificarse.

Estos trabajos los vamos a describir muy brevemente a continuación, tomando como ejemplo una bomba ROTO-DIESEL, aunque el trabajo es similar en toda clase de bombas rotativas.

En primer lugar se ha de calentar el motor hasta que alcance su temperatura de funcionamiento pues si no lo hacemos así los resultados pueden falsearse cuando el motor está caliente.

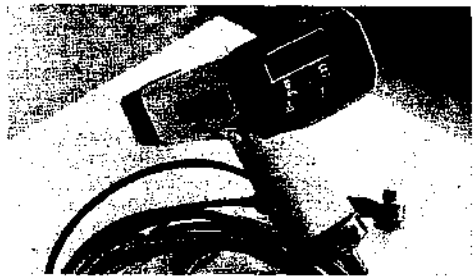


Figura 24. Pistola estroboscópica con captador con la que puede hacerse la puesta a punto del avance de la inyección.

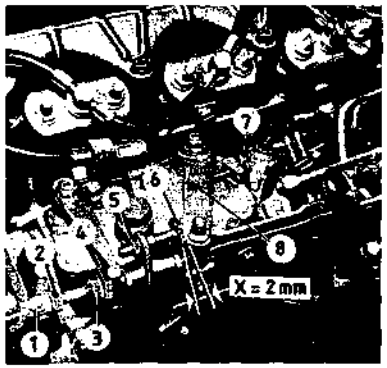


Figura 25. Puntos de reglaje de una bomba de inyección rotativa para conseguir la correcta puesta a punto del ralentí y anticalado.

En la figura 25 tenemos la bomba de inyección rotativa en la que se han señalado las palancas principales y sus cables correspondientes en los que hay que actuar para conseguir el correcto reglaje de cada una de las partes que hemos indicado en este párrafo.

Empecemos por el reglaje del circuito de marcha lenta. Una vez el motor ya caliente se procede a pararlo cuando ya ha alcanzado su temperatura de funcionamiento. En primer lugar se controla que el cable sujeto en 1 no se halle tensado de una manera excesiva, es decir, que no se halle bajo presión. Acto seguido, apoyar a fondo el pedal acelerador y comprobar que la palanca (8) al retornar, se apoye bien sobre el tope (6). Una vez hechas estas operaciones previas se pasa a poner en marcha el motor y se comprueba que mantenga por lo menos las 700 r/min. Esta velocidad hay que conseguirla actuando sobre la contratuerca (2) y sobre el tornillo (1) hasta obtener el régimen de las 700 r/min indicadas por el fabricante. (Este, como los demás datos son puestos ahora como ejemplo para mayor claridad de la explicación, pero deben venir determinados por el fabricante).

Acto seguido se coloca una galga de 2 mm en la cota señalada en la figura, entre el tope (5) y la palanca del acelerador (8). Desatornillar la contratuerca (4) y actuar sobre el tope (5) para obtener ahora una velocidad de régimen de unas 850 r/min, con una tolerancia de 50 en más o en menos (pues se retira la galga de 2 mm) y se aprieta la contratuerca (4).

Ahora conviene acelerar a fondo y dejar que el motor vuelva a su velocidad de marcha lenta por sí solo. Esta operación hay que observarla con atención y realizarla varias veces para ver cómo reacciona el motor. Puede ocurrir que el motor se muestre con un ralentí perfecto, pero también puede pasar alguno de los siguientes dos casos:

El motor se queda en un régimen de marcha en vacío inferior a aquel para el que ha sido reglado y tiene además tendencia a calarse. En este caso hay que actuar sobre el tope de anticalado aflojando la contratuerca (5) y adelantando el tope 1/4 de vuelta con el objeto de modificar la posición de la palanca de aceleración (8).

Otro caso puede ser: El motor cae de régimen demasiado lentamente. En este caso atornillar el tope atrasándolo con respecto a su posición en la palanca de aceleración (8), de forma que se afloja la contratuerca (5) y se atornilla el tope 1/4 de vuelta.

Entre estas dos operaciones hemos de encontrar el punto exacto de la velocidad de marcha en vacío.

En lo que respecta al anticalado se realiza con el motor también caliente y ya con su giro de marcha lenta debidamente reglado. Se comprueba colocando una galga de 2 mm de espesor entre el tope (6) y la palanca de aceleración. Con estos 2 mm el motor debe aumentar de vueltas solamente 100 r/min que hay que sumar a las de régimen de marcha en vacío, pero no más. Repetimos que el caso presentado corresponde a un motor Diesel de automóvil determinado y que estos valores que damos a modo de ejemplo han de ser comprobados en el manual de taller del motor en concreto, porque varía según el motor y en especial su régimen de giro máximo. Cuanto mayor es la velocidad de giro del motor mayor es también su régimen de marcha en vacío.

Con esto damos por terminada esta parte dedicada a la puesta a punto de la inyección.

Puesta a punto de la distribución

La puesta a punto de la distribución en los motores Diesel y en los motores de gasolina no presenta diferencias sustanciales. De hecho se trata en ambos casos de conseguir que el giro del cigüeñal esté sincronizado con el giro del árbol de levas. Por esta razón no vamos a extendernos mucho en la explicación de las técnicas que se llevan a cabo en este trabajo ya que son del dominio de cualquier mecánico que trabaje en los motores de gasolina y la verdad es que este motor y el Diesel no presentan diferencias.

Para llevar a cabo el trabajo de la puesta a punto de la distribución se ha de colocar el émbolo del primer cilindro en su PMS girando para ello el cigüeñal en el sentido de marcha hasta llegar a su posición más alta, que debe coincidir además, con las marcas que en los motores se señalan en el disco equilibrador o polea del cigüeñal y el índice fijo, uno de cuyos ejemplos tuvimos ocasión de ver en la pasada figura 7 de este mismo capítulo.

Por otra parte, el eje de levas debe llevar también unas marcas de referencia de un modo parecido a como se ve en la figura 26 que hay que hacer coincidir. Como puede verse, el extremo del eje de levas va provisto de una arandela de compensación (1) que se une al eje a través de una chaveta y cuya marca debe coincidir con la marca que existe en la pieza de apoyo del eje de

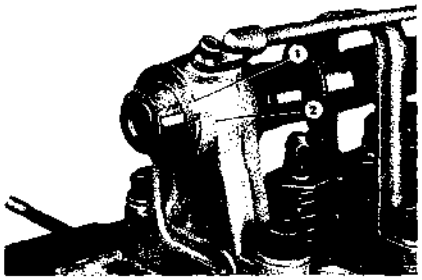


Figura 26. Marcas de referencia sobre el soporte del eje de levas y el extremo de éste en el lugar de la chaveta.

levas. Estas marcas y la posición de PMS del primer émbolo deben coincidir siempre para la puesta a punto quedando ésta automáticamente sincronizada cuandó las marcas coinciden.

Para ello se tendrá que colocar la rueda de arrastre dentada coincidiendo con el chavetero del árbol de levas y con la cadena de arrastre coincidiendo a su vez con la rueda del cigüeñal mantenido en la posición de puesta a punto que le hemos señalado. En la figura 27 se ha colocado ya la rueda dentada en el árbol cigüeñal y se está apretando con una llave dinamométrica la tuerca de fijación central en un motor de la marca MERCEDES. Con ello la puesta a punto de la distribución en lo que respecta al árbol de levas ya se puede dar por terminada.

Ahora bien las cosas pueden ser más fáciles o más difíciles según el diseño del motor y la forma como se haya dispuesto el eje de levas. El accionamiento por cadena resulta todavía bastante corriente pero lo es mucho más el accionamiento del eje de levas por medio de engranajes que resultan más silencio-

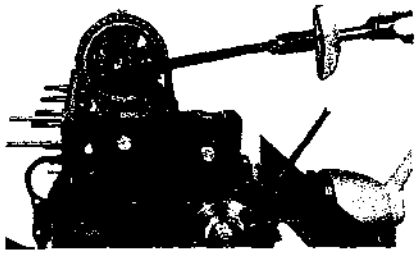


Figura 27. Colocación de la rueda de arrastre del eje de levas y apretado con llave dinamométrica. La cadena va unida al piñón del cigüeñal.

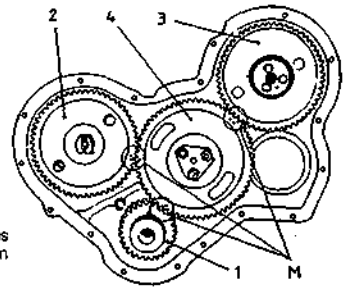


Figura 28. Conjunto de engranajes con sus marcas de puesta a punto respectivas en un motor de la marca PERKINS.

sos y duraderos. En la figura 28, por ejemplo, tenemos los engranajes de un motor de la marca PERKINS. En 1 tenemos el piñón del cigüeñal que va provisto de unas marcas en dos dientes correlativos. Cuando estas marcas (M) se enfrentan a un diente marcado en el engranaje intermediario (4) tal como se ve en la figura tenemos el calado correcto de esta rueda dentada. Del mismo modo, la rueda intermediaria (4) lleva unas marcas que han de coincidir con el engranaje de accionamiento del árbol de levas (2) del modo que las marcas (M) indican. También a su vez la misma rueda intermediaria (4) debe coincidir con las marcas de la rueda de arrastre de la bomba inyectora (3). Como puede verse el piñón del cigüeñal (1) dispone de la mitad de los dientes que las ruedas del árbol de levas (2) y de arrastre de la bomba (3) ya que al tratarse de un motor de cuatro tiempos el cigüeñal gira al doble de la velocidad a que deben hacerlo el citado árbol de levas y la bomba de inyección.

Cuando la transmisión se efectúa por cadena las marcas se encuentran en las ruedas dentadas y también en determinados eslabones de la cadena. Tal es el caso presentado en la figura 29 correspondiente a un motor de la marca PEUGEOT. Aquí tenemos el piñón del cigüeñal señalado en 1. El eslabón (A) de la cadena coincide con una marca que existe en el piñón y que determina el PMS del émbolo del primer cilindro. En este punto la cadena está colocada de modo que establece marcas para las ruedas dentadas del árbol de levas (2) y de arrastre de la bomba de inyección (3). Obsérvese cómo el eslabón (B) en su parte central debe coincidir con el punto marcado en las ruedas dentadas para que éstas tengan los dispositivos a que arrastran en perfecto orden de sincronización.

La rueda dentada (4) constituye el tensor del mecanismo y su presencia no tiene otro objeto que el de mantener la cadena tirante para su mejor acoplamiento a cada una de las ruedas dentadas.

Por último hay que aclarar que algunos motores llevan correas dentadas en vez de cadena, las cuales resultan más silenciosas y económicas y presentan también una gran duración.

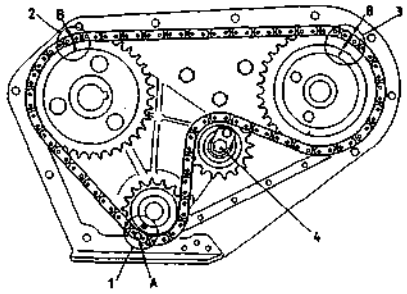


Figura 29. Engranajes con sus marcas de puesta a punto en un motor Diesel de la marca PEUGEOT. La cadena lleva también marcas que han de coincidir. 1, piñón del cigüeñal. 2, engranaje del eje de levas. 3, idem de la bomba de inyección. 4, tensor.

Una buena puesta a punto de la distribución finaliza con la comprobación de la holgura de válvulas y el ajuste de taqués o empujadores, pero esta es ya una operación sobre la que no vamos a hablar por ser también del conocimiento y la práctica de todos los mecánicos.

Con esto damos por terminado este capítulo dedicado a la puesta a punto de los motores Diesel.

9

LA SOBRE-ALIMENTACION

Al principio del libro dijimos que la potencia que un motor puede alcanzar depende de su habilidad para sacarle al combustible la energía calorífica que contiene. Para ello necesita ante todo mezclarlo con el suficiente aire para que éste le ceda su oxígeno en el momento de la reacción química de la combustión. Por supuesto, el volumen de un cilindro limita la cantidad de aire que puede penetrar en él, de modo que si su volumen es de 500 cm^3 la cantidad de aire que puede tener cabida en él será, teóricamente, de 500 cm^3. De acuerdo con la cantidad de aire tenemos que calcular la cantidad máxima de combustible inyectado pues sería inútil del todo introducir en la cámara mayor cantidad de combustible del que puede consumirse de acuerdo con el aire aportado, de modo que la cilindrada limita la potencia que un motor puede alcanzar dentro de unos límites relativamente estrechos y a igualdad del número de r/min del motor. Esta consideración nos lleva a darnos cuenta de la importancia que tiene no sólo el combustible, sino también el aire para obtener una mayor potencia, y nos sirve también para darnos cuenta del porqué los motores de menor cilindrada dan potencias más discretas que los motores de una cilindrada mucho mayor.

Como muy bien sabemos, el llenado del cilindro se produce en el momento en que la válvula de aspiración se abre y el émbolo desciende creando un vacío que la presión atmosférica corre a llenar. La cantidad de aire que consigue entrar en el cilindro en estas circunstancias resulta en la práctica bas-

tante menor incluso que el volumen del cilindro, condición que además se agrava a medida que el régimen del giro del motor es más elevado.

Los motores que trabajan del modo que acabamos de describir son llamados *motores atmosféricos* y también *motores aspirados* porque el aire que entra al interior del cilindro lo hace a la presión atmosférica aunque en la práctica, cuando la válvula de aspiración se cierra y se inicia la compresión, la presión del aire sea inferior a la atmosférica debido a la brevedad con la que se produce este tiempo del ciclo.

De todo lo que acabamos de decir en esta introducción se deduce que para que un motor aumente su potencia solamente podemos acudir a conseguir que consuma más (por supuesto, que consuma más *perfectamente*, sin derroche de combustible). Para ello necesitamos o bien aumentar su número de tiempos de expansión por minuto, es decir, aumentar su régimen de giro, o bien aumentar su consumo de aire a base de hacer el cilindro de mayor volumen o de aumentar el número de cilindros, lo que viene a ser lo mismo. Así pues, queda claro que existe una relación entre cilindrada-régimen máximo de giro para determinar la potencia, y que si un motor de menor cilindrada tiene la misma potencia que otro de mayor es porque el régimen de giro máximo es superior en este último, etcétera.

Pero los ingenieros han descubierto además otro sistema de aumentar la potencia de un motor sin aumentar su cilindrada ni su régimen máximo de giro, simplemente acudiendo a aumentar la cantidad de aire que entra en el cilindro. En efecto: forzando al aire a entrar a mayor velocidad y por lo tanto a mayor presión hacia el interior del cilindro cuando la válvula de aspiración se abre se consigue sin duda que en un cilindro de 500 cm^3 pueda entrar mayor cantidad de aire del volumen de que se dispone, de modo que esto equivale, a efectos de la cantidad de aire, como si se estuviera trabajando con un motor de mayor cilindrada. Claro que para conseguir esto hay que disponer de un mecanismo capaz de comprimir aire para darle una presión superior a la presión atmosférica y de esta manera proceder al mayor llenado del cilindro, y además se tendrá que perder energía del motor para llevar a cabo esta precompresión del aire, pero la ventaja de obtener una mayor potencia con menor peso del motor ya sabemos que tiene mucha importancia en automoción en donde todo el peso ha de ser transportado.

Los motores en los que se introduce el aire a una presión superior a la atmosférica reciben el nombre de *motores sobrealimentados* y en los motores Diesel esta técnica ha llegado a adquirir gran perfección ya que viene aplicándose desde hace muchos años y con gran aprovechamiento desde 1950 en que, por la aplicación y puesta a punto de los turbocompresores se consiguió un tipo de compresor que consumía una discreta cantidad de energía capaz de hacer al motor sobrealimentado más rentable que un motor atmosférico de la cilindrada equivalente. En una primera etapa, el turbocompresor se utilizó para los grandes motores que propulsaban barcos, grandes camiones y locomotoras, pero a partir de 1970 esta técnica se aplicó también a los motores de pequeñas cilindradas y giro muy rápido, tal como es el caso de los motores Diesel para el automóvil.

El motor Diesel sobrealimentado a base de turbocompresor y aplicado a los automóviles resulta ya un motor de cualidades de aceleración y potencia que se aproxima mucho a las condiciones habituales de los motores de gasolina. Sin embargo, presenta el inconveniente del elevado precio de adquisición que si ya tiene importancia en el caso del motor Diesel atmosférico resulta todavía muy superior en el caso del motor sobrealimentado por el aumento de precio que representa el turbocompresor que, como veremos, es una pieza que se halla sometida a grandes temperaturas, de modo que ha de estar realizada con materiales especiales y con gran precisión.

Podemos hacer comparaciones de los aumentos de potencia obtenidos por este procedidmiento viendo las características de motores de la misma marca e igual diseño. Un ejemplo muy claro de ello lo tenemos con el motor PEUGEOT, modelo XD 2, que equipa a los modelos de la marca *505* y *504*. Este motor, de una cilindrada de 2.304 cm3, alcanza, en su versión atmosférica, una potencia de 70 CV a las 4.500 r/min y un par motor de 128 N.m a las 2.000 r/min. El mismo motor sobrealimentado alcanza los 80 CV a 4.150 r/min, con un par motor máximo de 188 N.m a las 2.000 r/min. Esta diferencia de un 15 % más de potencia es típica en los motores sobrealimentados. Pero el aumento entre un 45 a un 50 % en el par motor es lo que proporciona a este motor unas cualidades excepcionales durante la conducción de modo que un automóvil de este tipo puede competir perfectamente con otros vehículos de igual peso y una potencia similar aportada por un motor de chispa en la obtención de promedios de velocidad en carretera, todo ello con un consumo sensiblemente inferior.

Vamos a ocuparnos en este capítulo de todo aquello que respecta a la sobrealimentación de los motores Diesel así como de algunos trabajos que hay que llevar a cabo con los dispositivos de que constan estos motores y que los diferencian de los motores aspirados que ya hemos estudiado a lo largo de anteriores páginas.

Compresores

En esencia, un motor sobrealimentado es un motor normal al que se le ha unido un aparato capaz de proporcionar aire a una presión superior a la atmosférica y que ha sufrido algunas pequeñas modificaciones en ciertas partes del mismo para poder mantenerse en consonancia con las variaciones introducidas por la presencia de este aparato. En la figura 1 tenemos una vista exterior de un motor sobrealimentado de la marca ALFA-ROMEO, en colaboración con la VM, que con 1.995 cm^3 alcanza los 82 CV DIN a 4.300 r/min. El elemento fundamental de la diferencia entre este motor y un motor aspirado corriente de los que hemos visto tantas veces está en el compresor (C) que es el aparato destinado a conseguir comprimir el aire de modo que al entrar en el cilindro lo haga con una mayor densidad y, consecuentemente, con un mayor peso, lo que ha de entenderse como con una mayor riqueza de oxígeno para el mo-

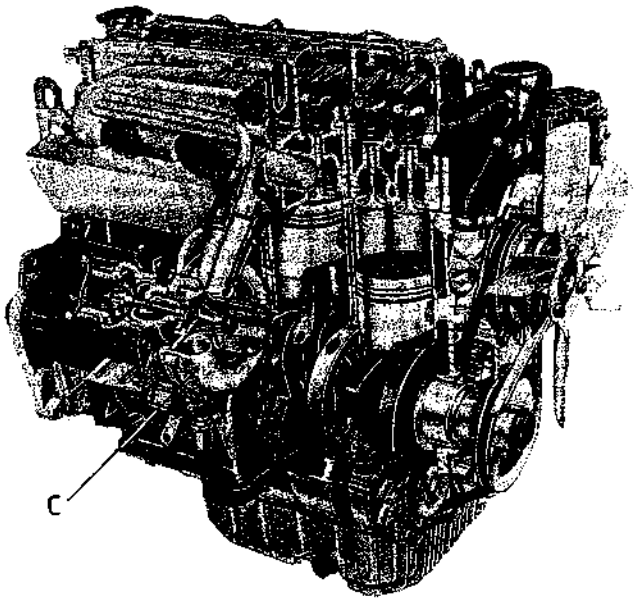
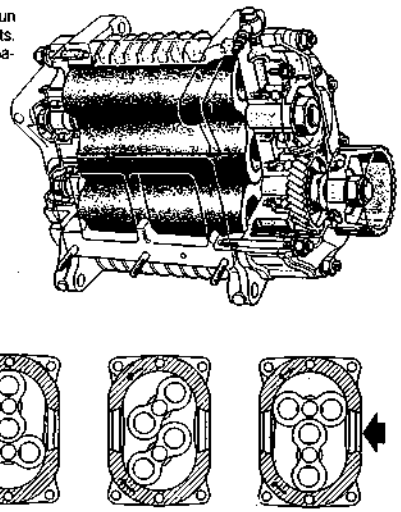


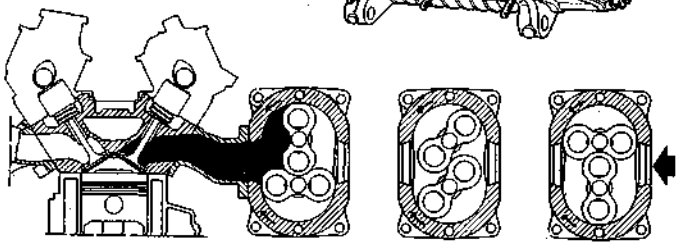
Figura 1. Motor Diesel sobrealimentado fabricado en colaboración entre la VM y la ALFA-ROMEO. C, turbocompresor.

mento en que se produzca la combustión por la entrada del gasóleo en la cámara de combustión.

Aparatos que puedan comprimir el aire los hay de varios tipos diferentes. Existen los compresores volumétricos (Fig. 2) también conocido con el nombre de *compresor Roots*, de accionamiento mecánico, que son utilizados con preferencia en los motores de gasolina; existen los *compresores de paletas*, menos corrientes, y existen los *compresores centrífugos*, que son la base del *turbocompresor* que resulta ser el más utilizado en los motores Diesel, como veremos. En la figura 3 tenemos un compresor centrífugo aplicado a un motor térmico, todo ello dibujado en esquema, que puede darnos una idea de aproximación sobre lo que es este tipo de compresor. Consta de una turbina (b) conectada a una salida del cigüeñal por medio de los engranajes (c), que la hacen girar a una velocidad muy superior a la velocidad a que gira el árbol cigüeñal. Esta

Figura 2. Vista de la constitución de un compresor volumétrico del tipo Roots. Abajo: diferentes fases de funcionamiento.





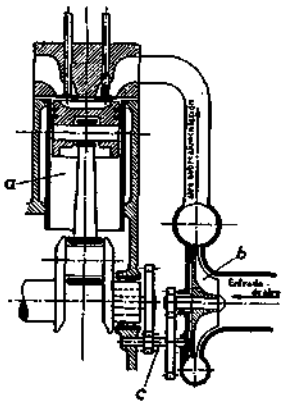


Figura 3. Compresor centrífugo montado en un motor térmico. a, cilindro. b, soplante. c, tren de arrastre elevador del régimen de giro del soplante.

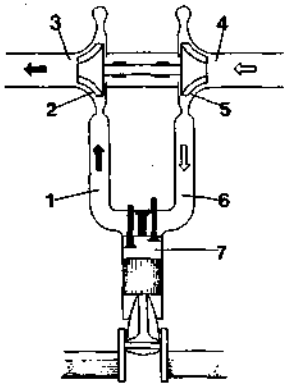


Figura 4. Esquema del funcionamiento de un turbocompresor. 1, colector de escape. 2, turbina. 3, salida al exterior. 4, entrada del aire. 5, compresor centrífugo. 6, colector de admisión. 7, motor.

turbina recoge el aire de la atmósfera y lo introduce a sobrepresión en el conducto de aspiración, de modo que cuando en el cilindro (a) se inicia el tiempo de admisión y se abre la válvula de entrada del aire, éste se encuentra ya con una compresión previa que lo hace entrar a gran velocidad en el interior del cilindro, dando como resultado que, cuando la válvula de aspiración se ha cerrado y el émbolo inicia el próximo tiempo de compresión, la cantidad de aire que ha entrado en el cilindro resulta sensiblemente superior a la que hubiera podido entrar por el efecto de la presión atmosférica.

Todos estos tipos básicos de compresores que hemos anunciado deben ser arrastrados por el motor y absorben una importante potencia del cigüeñal para conseguir la compresión del aire de modo que sus ventajas quedan restadas por la potencia que absorben. Para evitar este inconveniente se han ideado los *turbocompresores* en los que la idea central consiste en aprovechar la energía cinética de los gases de escape para mover una turbina, la cual se encargará de accionar un compresor centrífugo. De esta manera el accionamiento del compresor no produce prácticamente pérdida de potencia del motor y la mejora introducida es muy grande.

Los turbocompresores son los tipos de compresores más usados en los motores Diesel sobrealimentados y a ellos vamos a referirnos exclusivamente, dada su gran difusión.

Turbocompresores

Para ir penetrando dentro de lo que son estas máquinas de comprimir aire veamos, en la figura 4, un sencillo esquema del principio de funcionamiento. Cuando, después de la combustión, los gases calientes, residuos de la misma combustión tienen abierta la válvula de escape corren a expansionarse a la atmósfera y alcanzan velocidades muy apreciables. Salen pues por el conducto (1) de la figura, y en su velocidad de salida se encuentran obturado el paso por los álabes de una turbina (2) de fácil giro, a la que tienen que voltear para encontrar el camino de salida representado por el conducto (3). Esta turbinna (2) es solidaria de un eje a cuyo extremo se halla el compresor centrífugo (5) que gira, por lo tanto, al mismo número de vueltas que lo hace la turbina. En su giro, el compresor (5) recoge el aire de la atmósfera a través del conducto (4) y lo pasa a la cámara (6) que es el conducto de admisión. Cuando la válvula de aspiración se abre, el aire así comprimido pasa a penetrar en el cilindro con una sobrepresión que determina el mayor llenado del volumen del mismo. De este modo la combustión podrá hacerse con mayor cantidad de combustible o no, pero siempre la cantidad mayor de aire permitirá una buena combustión al disponer de más oxígeno del que podría esperarse de su volumen, y ello dará como resultado una mayor potencia del motor.

Un turbocompresor es, en la realidad, algo semejante a lo que se ve en la fotografía de la figura 5, y la disposición de su constitución interior se puede ver en la figura 6. La entrada de los gases de escape se produce por 1 y alcanzan el exterior (a través del tubo de escape y del silenciador) después de haber movido el rodete de la turbina (3) y salir por 2. El movimiento imprimido se traslada al lado opuesto donde se halla el rodete del compresor

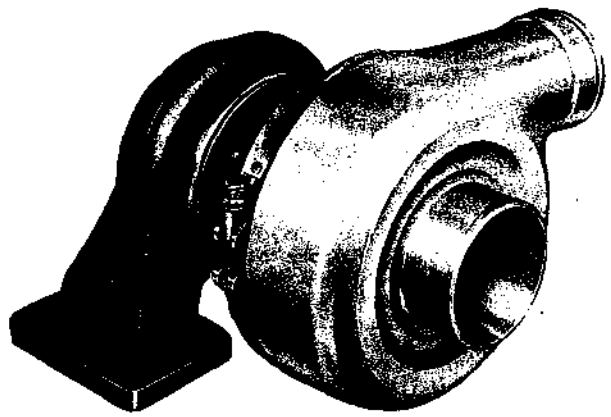


Figura 5. Aspecto exterior de un turbocompresor de la marca HOLSET.

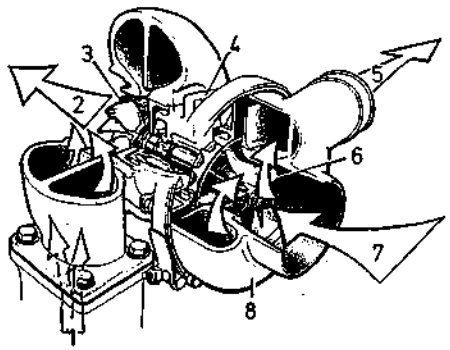


Figura 6. Grupo turbocompresor seccionado para apreciar sus elementos. 1, llegada de los gases a la turbina. 2, salida de gases al silenciador. 3, turbina de gases de escape. 4, caja de engrase. 5, alimentación del aire de admisión. 7, entrada de aire ambiente al compresor. 8, conjunto compresor.

que en su giro admite el aire por 7, lo comprime en 6, y lo manda al circuito de admisión por 5. En 4 y en 8 tenemos, respectivamente, la caja de engrase de los cojinetes del eje y el conjunto del compresor.

En realidad, la cosa es así de simple. Pero no nos engañemos creyendo que aquí acaban todos los problemas de esta máquina: hay que hacer sobre lo dicho ciertas consideraciones que nos van a poner sobre aviso de las condiciones de funcionamiento de un turbocompresor. Por ejemplo, su velocidad de giro se encuentra entre las 80.000 a 120.000 r/min, es decir, entre 1.300 a 2.000 ¡revoluciones por segundo! Pero además tiene que soportar las altas temperaturas de los gases de escape que, como sabemos, pueden ser de unos 750 grados centígrados. Por todo ello se deben dar en los turbocompresores algunas de las siguientes garantías. En primer lugar, un diseño muy acertado de los componentes en el que se atienda a un engrase muy activo para soportar las vertiginosas velocidades de giro y que actúe como refrigerante que reduzca las altas temperaturas de todo el aparato; en segundo lugar se necesitará utilizar materiales especiales y, por último, una tecnología muy específica sobre este tipo de construcciones, razones por las cuales estos aparatos tienen un tan elevado precio y encarecen el costo de los motores sobrealimentados.

Algunas características técnicas

Antes de entrar en la parte puramente práctica de esta exposición, en la que veremos los trabajos de desmontaje y comprobación de los turbocompresores, será conveniente hacer algunas breves menciones de aquellas características técnicas que son propias de estas máquinas para su funcionamiento en los motores Diesel en los que estén aplicadas. Por supuesto, todo *turbo* que esté ya aplicado a un motor y salga con él de fábrica habrá sido sometido a las necesarias modificaciones para que la adaptación produzca eficaces resultados, pues, efectivamente, el motor debe «prepararse» para recibir un *turbo* ya que éste va a introducir una nueva escala de presiones en sus piezas del tren alternativo. A las modificaciones que se han llevado a cabo para conseguir una buena adaptación del *turbo* al motor es a las que vamos a referirnos en este apartado.

Relación de compresión

Resulta evidente que si sometemos el aire a una precompresión y con este valor lo hacemos entrar en el cilindro durante la aspiración, cuando el volumen total de aire se comprima representará una relación de compresión por encima de la relación de compresión que tendría un motor atmosférico. En este tipo de motores se están dando compresiones de 22:1 y más de modo que al aplicarle el turbocompresor la relación crecería considerablemente y es muy probable que los cojinetes de cigüeñal y biela, así como el émbolo y sus juntas de estanqueidad —aros— además de la película de engrase que se forme resulten incapaces de resistir estas presiones tan altas acompañadas además de más elevadas temperaturas.

Por esta razón los motores sobrealimentados tienen aparentemente una mayor relación entre su espacio muerto en PMS y el volumen del cilindro, dando la impresión al mecánico que los desmonta de que se trata de un motor de baja relación de compresión. Esto, sin embargo, no es cierto por la razón de la sobrepresión a que recibe el aire aspirado.

Inyección

En las sobrealimentaciones que se llevan a cabo en los motores de automóvil no se pretenden alcanzar sobrepresiones exageradas que complicarían en mucho la aplicación de una mecánica ya existente a las condiciones de sobrealimentación. A estos niveles, el mayor rendimiento del motor se busca por el exceso de aire que permita una combustión más perfecta incluso a los altos regímenes de giro. Por esta razón no se suele aumentar el caudal de combustible proporcionado por la bomba de inyección y por consiguiente se puede aprovechar íntegramente la misma bomba del motor atmosférico. Los elementos de inyección siguen siendo del mismo diámetro y carrera y la leva de inyección se mantiene con el mismo perfil. De acuerdo con ello hemos de interpretar que la duración de la inyección será la misma en los dos tipos de motores. Ahora bien: Dado el hecho de que la cantidad y la presión del aire son mayores, lo que determina una más perfecta combustión y más rápida,

en todo caso los motores sobrealimentados suelen tener un menor avance de inyección porque la propagación de la llama se realiza de una forma más rápida y con mucha menos violencia, cosa que se delata por su menor tendencia al picado. Suelen ser frecuentes valores de uno o dos grados menos de avance en las bombas aplicadas a estos motores con relación a la posición que ocupan en los motores atmosféricos.

Engrase

Los motores sobrealimentados deben ampliar su circuito de engrase haciendo que el aceite llegue hasta la caja del turbocompresor con facilidad y abundancia. Pero dado el hecho de que el aceite ha de cumplir también una acción refrigeradora sobre el muy caliente eje del turbo, resulta muy importante que en la parte baja haya una descarga holgada que no permita que el aceite se acumule sino que la circulación se establezca de una manera fluida para que la temperatura se mantenga dentro de unos valores soportables para la máquina soplante.

En general, conviene que el caudal de aceite sea aumentado con respecto a un motor aspirado y también es frecuente encontrar un nuevo filtro de aceite muy fino que garantice el buen estado de limpieza del aceite que va a engrasar al *turbo*.

Finalmente, hay que insistir en la conveniencia de que el tubo de descarga del aceite de engrase del *turbo* devuelva con la mayor rapidez el aceite al circuito, puesto que a veces han habido fallos importantes en una adaptación irreprochable por otros conceptos, porque el tubo de descarga resultaba estrecho o poco pendiente. En estos casos el aceite inunda los cojinetes, mantiene la temperatura, puede llegar a hacerse tan fluido que pasa a los rodetes a los cuales ensucia y además dificulta el giro vertiginoso de todo el rotor. En la figura 7 tenemos un motor Diesel sobrealimentado en el que puede verse una correcta disposición de los conductos de trasvase de aceite. El turbocompresor (S) recibe el tubo de aceite en su parte central para el engrase del eje mientras en su parte baja se observa el tubo de descarga (T) que propicia la salida del aceite hacia la bandeja del cárter por su disposición vertical.

Aplicación del turbo

Dado el hecho de que el turbo no precisa ninguna conexión mecánica rígida con el motor al que alimenta parece que su colocación no tiene que ocasionar ningún problema por las muchas soluciones posibles que se podrían adoptar. Así es en principio. Sin embargo, existe un enlace entre el motor térmico y el *turbo* que tiene una importancia transcendental para conseguir unos resultados ventajosos, y esta unión es la que hace pasar los gases de escape hacia la turbina. Estas conducciones tienen que ser lo más cortas que sea posible, tienen que presentar las mínimas pérdidas de carga a base de tener

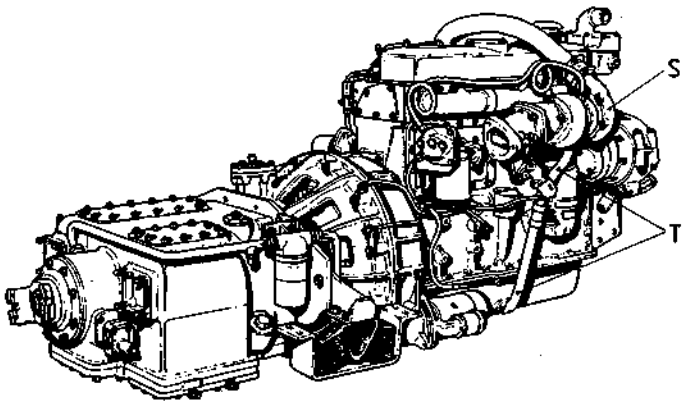


Figura 7. Motor Diesel sobrealimentado mostrando el tubo de descarga de aceite (T) bajo el turbocompresor (S).

una sección de paso útil que sea igual a la de la boca de la turbina para no provocar pérdidas de energía. Por otro lado, no deben tener cambios bruscos de dirección y deben tener las juntas de dilatación necesarias para no crear tensiones ni en la culata ni en el grupo *turbo* al sufrir grandes cambios de temperatura causados por las muy diversas temperaturas de los gases de escape según la carga a que es sometido el motor.

Sobre las juntas de dilatación es importante hacer algunas observaciones que son de gran interés para el mecánico. Digamos, en primer lugar, que en un motor normal las juntas de los conductos de escape y de admisión tienen un relativo trabajo de estanqueidad. No ocurre lo mismo con un motor sobrealimentado en donde se aumentan considerablemente las presiones que circulan por el interior de los tubos y entonces la posibilidad de fugas aumenta. La presencia de fugas significa pérdida de los valores de presión adecuados para el funcionamiento previsto y, por ello, una pérdida del rendimiento de la máquina que puede llegar a ser de mucha consideración. Así, pues, la estanqueidad de los conductos en la zona de las juntas debe ser revisada con gran escrupulosidad así como en general todo el conducto.

Un punto delicado es aquel en que se hallan las juntas de dilatación. En la figura 8 se puede ver un caso de junta de este tipo que une la salida de los gases de escape a la entrada a la turbina o a un segundo colector que vaya hasta ésta. Los diámetros A y B se ajustan con una tolerancia u holgura muy pequeña porque al dilatarse o contraerse lo hacen al mismo tiempo ya que se

hallan a la misma temperatura. Téngase en cuenta que estas juntas efectúan una labor de rótula para dar flexibilidad al conjunto turboaspirante frente a las vibraciones del motor. Este efecto de rótula se realiza en mejores condiciones si la cota C es pequeña.

Dificultades de arranque

En igualdad de condiciones el motor sobrealimentado suele presentar mayores dificultades en el arranque en frío que el motor atmosférico debido a que inicialmente la relación de compresión es más baja (pues en el momento del arranque no recibe el aire precomprimido procedente del *turbo* y, recordemos, la relación geométrica inicial debe ser mucho más reducida para que resulte una relación normal cuando el *turbo* trabaja). Por esta razón disponemos de una menor temperatura de la compresión inicial y con las condensaciones propias de las frías paredes de los cilindros el gasóleo no alcanza fácilmente su temperatura de inflamación.

Los fabricantes, como es lógico, solucionan este problema a base de resistencias de precalentamiento muy enérgicas que proporcinen el calor suficiente hasta el punto que un motor de este tipo necesita. A tal efecto puede resultar frecuente la adopción de resistencias adicionales como la que podemos ver en la figura 9, colocada en la boca del colector de admisión por medio de la cual se aumenta la temperatura del aire que el motor aspira y se facilita un mayor nivel de la temperatura de compresión. En otros casos las bujías de precalentamiento son más potentes de modo que liberan mayor cantidad de calor que las bujías de los motores atmosféricos.

Válvulas reguladoras

Durante el funcionamiento del turbocompresor se produce una relación proporcional entre el estado de carga y el giro de los rodetes del mismo. Así, cuando el motor está girando a media carga, la velocidad de los gases de escape es la velocidad conveniente para que el giro del rodete del compresor

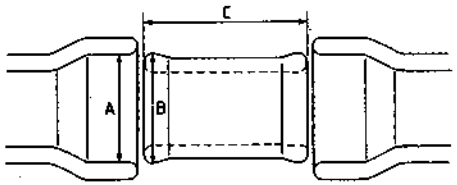


Figura 8. Junta de dilatación entre dos tubos. A y B, diámetros con muy poca tolerancia. C, longitud de la junta.

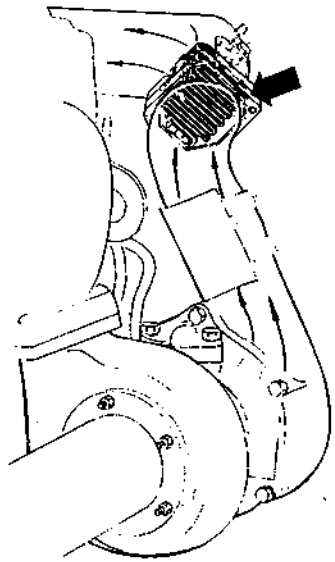


Figura 9. Resistencia calefactora para facilitar el arranque. Se halla señalada por la flecha gruesa e inmersa en la corriente de aire de aspiración.

proporcione la cantidad de aire adecuado para el consumo que el motor debe tener bajo esta misma carga. Hay, pues, un equilibrio entre la velocidad de los gases de escape y la velocidad del aire precomprimido. De la misma forma, si se aumenta la carga se produce una mayor velocidad de los gases lo que es conveniente para lograr una mayor velocidad del rodete del compresor y que éste proporcione ahora un mayor caudal de aire.

Esta circunstancia se da en muchas fases del funcionamiento del *turbo*, pero no en todas. En los motores muy rápidos existen algunos estados en que se precisa armonizar la velocidad de los gases de escape con la velocidad del aire precomprimido y para ello se han ideado las *válvulas reguladoras* que tienen este fin.

Un ejemplo de una de estas válvulas lo podemos ver en la figura 10 correspondiente a una válvula de descarga reguladora de la presión de admisión. El dibujo muestra también el funcionamiento de la válvula mediante las dos posiciones fundamentales que puede adoptar. Se trata de una válvula de membrana (1) enfrentada a un muelle antagonista (2) que al mismo tiempo que mantiene en posición de reposo a la membrana atrae a la posición de cierre

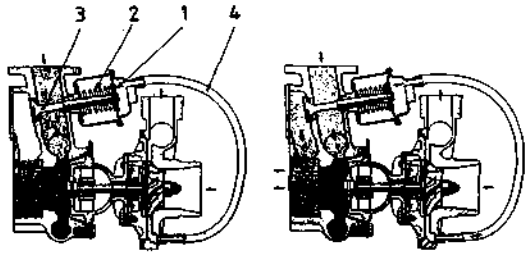


Figura 10. Funcionamiento de una válvula de descarga reguladora de la presión de admisión.

a la válvula (3) que cierra un orificio de descarga para los gases de escape. Cuando la sobrepresión del aire alcanza valores elevados a consecuencia del excesivo giro de la turbina —provocado, por supuesto, por una gran velocidad de los gases de escape— se ejerce un valor de presión superior sobre la membrana (1) a través del conducto de comunicación (4) de modo que, tal como muestra el dibujo de la derecha, la membrana vence la presión del muelle y la válvula de descarga (3) se abre poniendo ligeramente en cortocircuito

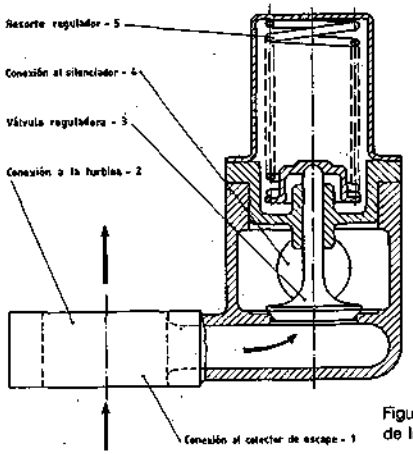


Figura 11. Válvula automática reguladora de la marca KKK.

el paso de los gases de escape a través de la turbina. De este modo decrece la velocidad y presión de los gases de escape con lo que la turbina reduce su giro y los valores de sobrepresión se mantienen dentro de sus límites apetecibles.

Otro tipo de válvula automática reguladora se puede ver también en la figura 11 que, teniendo el mismo fin, trabaja sin embargo de otra manera. Cuando los gases de escape llegan a la conexión del colector de escape (1) tienen comunicación con una pequeña cámara en la que se halla colocada la válvula de descarga (3), sujeta sobre su asiento por medio de un muelle regulador (5) que está regulado para sostener una determinada presión. Cuando la presión de los gases de escape aumenta por encima de determinados valores que significarían un giro excesivo de la turbina, la misma presión de estos gases es superior a la presión del muelle (5) de modo que la válvula de descarga (3) cede, se abre, y deja paso a los gases, que a través de la cámara de la válvula pasan hacia el silenciador a través del orificio 4, produciendo una caída en la presión y velocidad del gas y una reducción en el giro de la turbina.

No todos los motores llevan estas válvulas. En la figura 12 tenemos una fotografía que muestra un turbocompresor seccionado, de la marca KKK en el que se ve la válvula de regulación del tipo de la segunda descrita formando parte del mismo cuerpo del *turbo*. Obsérvese el gran tamaño que presenta con relación al resto del conjunto.

Constitución de un turbocompresor

Antes de entrar en la parte práctica de este capítulo, en la que estudiaremos la manera de verificar y desmontar un turbocompresor, veamos brevemente su constitución interna. En la figura 13 tenemos un dibujo que muestra la constitución interna de un *turbo* de la marca alemana KKK en la que se han señalado cada una de sus partes constituyentes. Por otra parte, en la figura 14 tenemos un despiezo general de otra de estas unidades. Como puede verse por el estudio de ambas figuras consta, fundamentalmente, de una carcasa del compresor (1) que se enfrenta a una carcasa de la turbina (2) con el intermedio de la caja de cojinetes (3). La rueda de la turbina (4) es solidaria además de un eje que a través de unos cojinetes (5) se apoyan en el cuerpo central (3) y a cuyo extremo se acopla el rodete del compresor (6) asegurado en su posición por medio de una tuerca (7) de sujeción.

Como puede verse en el estudio de estas dos figuras se trata de un mecanismo muy sencillo.

Trabajos de mantenimiento

A pesar de las altas velocidades de giro y de las temperaturas elevadas a que se trabaja en los turbocompresores, estos aparatos suelen estar construidos con una tecnología capaz de vencer estas condiciones adversas. En su conse-

Figura 12. Turbocompresor de la marca alemana KKK provisto de válvula reguladora. Se halla seccionado para que se aprecie la constitución interior del turbocompresor.

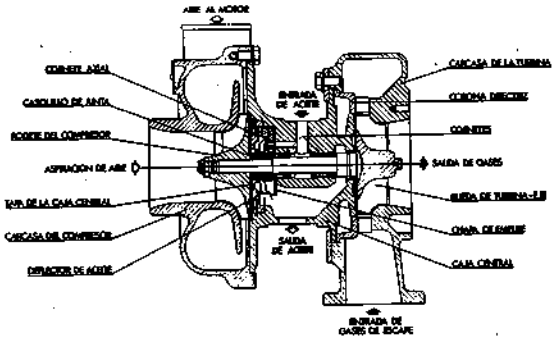


Figura 13. Relación de los elementos que forman un turbocompresor para motor Diesel de automóvil.

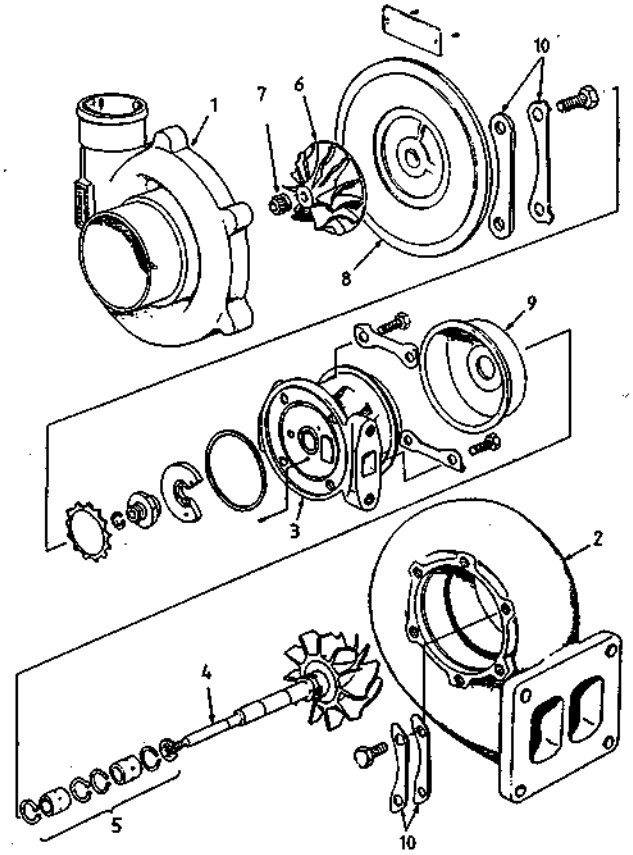


Figura 14. Despiezo general de un turbocompresor. 1, carcasa del compresor. 2, carcasa de la turbina. 3, caja de cojinetes. 4, rueda de la turbina con su eje. 5, conjunto de cojinetes. 6, compresor. 7, tuerca de fijación del compresor al eje de la turbina 4. 8, placa posterior. 9, escudo de calor. 10, placas de retención.

cuencia son aparatos de larga duración. Requieren, no obstante, unas revisiones periódicas que deben proporcionarse de acuerdo con las instrucciones que se dan en cada motor por su fabricante. En general basta que al cambiar el aceite del motor se inspeccione el nivel de aceite del filtro de aire (en el caso de que el motor lleve este sistema) y que se hagan las siguientes sencillas comprobaciones:

1.° Comprobar la estanqueidad de las juntas y conductos de aire y aceite.
2.° Ver que el respiradero del motor no esté obstruído.
3.° Observar que el grupo no presente ruidos o vibraciones anormales.
4.° Mirar si el escape se comporta con normalidad o da síntomas de exceso de combustible, de falta de aire (obstrucción del filtro) o de que el grupo trabaje «frenado», cosa que se observará por su ruido de sirena.

Además, anualmente se comprobarán las holguras axiales y diametrales y las presiones de alimentación, datos que deben coincidir con las características técnicas del turbocompresor en concreto que proporciona su fabricante.

En cuanto a las averías, resulta muy poco frecuente que el *turbo* las presente, y lo más corriente es que se mantenga en buenas condiciones y envejezca al mismo tiempo que lo hace el motor de modo que no ocasione problemas durante toda la vida útil del motor. Sin embargo, cuando hablemos de las averías, en el capítulo 11, dedicaremos a este tema las advertencias necesarias.

Desmontaje del turbo del motor

En los motores sobrealimentados el desmontaje del turbocompresor se suele realizar con frecuencia porque, al formar parte de la culata a través de sus conexiones con los colectores de escape y admisión, para proceder al desmontaje de la culata hay que desconectar el *turbo*. Este trabajo, sin embargo no resulta complicado. En la figura 15 tenemos los puntos sobre los que hay que actuar para conseguir el desmontaje.

Se comienza por desmontar el tubo de escape (A) del *turbo*, generalmente sujeto por medio de tornillos como se muestra en la figura. Acto seguido se pasa al desmontaje, en la parte opuesta, del manguito de goma (B) de unión del compresor con el filtro de aire, sujeción que se realiza por medio de bridas que hay que aflojar para sacar el manguito.

La operación siguiente va a consistir en aflojar las bridas de la unión del manguito de goma entre el *turbo* y el colector de admisión (C). Luego hay que desconectar las dos tuberías para el engrase (D) con lo que el *turbo* quedará liberado y podrá sacarse sin dificultad.

El montaje se efectuará obrando de modo inverso pero teniendo mucha precaución, por los motivos que ya han sido explicados, de que los conductos queden con la garantía de estanqueidad necesaria para que no se produzcan fugas de los fluidos que las atraviesan.

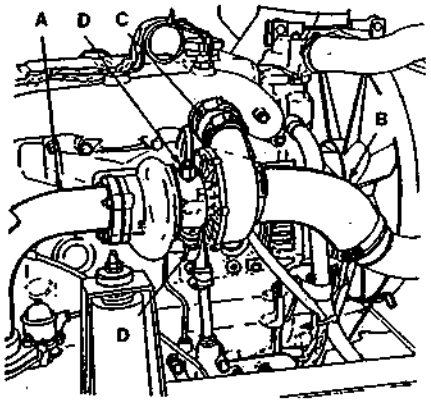


Figura 15. Para el desmontaje del turbocompresor del motor hay que desmontar los colectores A, B y C, y luego las conexiones del aceite de engrase.

Desmontaje del turbocompresor

A pesar de que acabamos de decir que los turbocompresores no acostumbran a tener averías, ello no quiere decir que en algunos casos no puedan llegar a tenerlas de modo que sea conveniente proceder a verificar partes sustanciales del conjunto para sustituir piezas que hayan podido tener un desgaste prematuro. Por esta razón vamos a explicar las comprobaciones que es preciso realizar con un *turbo* para motor ligero de automóvil, lo que nos va a llevar también a explicar la manera de proceder a su desmontaje.

Vamos a tomar como ejemplo un turbocompresor de la marca KKK.

Antes de proceder al desarmado del grupo se deben comprobar las holguras diametral y axial. Pero lo primero que vamos a hacer va a consistir en limpiar bien las superficies y, en lo que se pueda, el interior para eliminar todo tipo de porquería que pueda suponer un ligero desequilibrio a las altas r/min a que giran estos rodetes. La limpieza se debe efectuar, a poder ser, con una vaporización a presión de un disolvente no cáustico. Por otra parte, hay que cuidar mucho de que las piezas no reciban golpes que podrían ocasionarles deformaciones, ya que, por ligeras que éstas sean, se traducirían en desequilibrios al llegar a la alta velocidad de giro a que estas piezas se mueven. Recuérdese que todas estas operaciones que vamos a realizar son sencillas pero requieren mucha delicadeza y una gran limpieza en el puesto de trabajo y en las manos.

Es buena medida marcar con lápiz eléctrico las posiciones de los cuerpos de compresor y de turbina con respecto al cuerpo central. Puede entonces

Figura 16. Turbocompresor montado en el tornillo de banco.

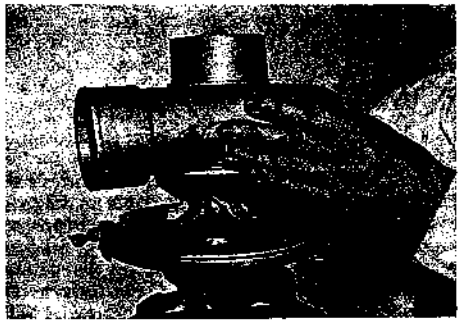


Figura 17. Retirando el cuerpo del compresor sin ladear las piezas.

sujetarse el conjunto en un tornillo de banco, del modo que se aprecia en la figura 16, el cual esté equipado con mordazas de aluminio o de cobre, para no dañar las superficies de sujeción. Se afloja seguidamente la abrazadera del cuerpo del compresor y golpeando suavemente con un mazo de plástico se retira el cuerpo sin ladear las piezas, de la forma que se puede ver en la figura 17.

A continuación se aflojan la abrazadera o los tornillos de la turbina y ya puede retirarse del mismo modo la caja central, cosa que se está haciendo en la figura 18, llevando también, y aquí especialmente, mucho cuidado de no ladear las piezas para no afectar a los rodetes y deformarlos.

Acto seguido ya se puede proceder a retirar el cuerpo de la turbina del tornillo de banco, y se coloca el cuerpo central en su lugar sujeto por el extremo del rodete de la turbina. Se monta un comparador del modo que se aprecia en la figura 19, y se puede ya proceder a la medición de la holgura axial, siguiendo el procedimiento siguiente: Empujar en sentido vertical el cuerpo central y situar la punta de contacto del comparador sobre el extremo del eje poniendo a cero el comparador. Empujar entonces el cuerpo central

Figura 18. Forma de retirar el conjunto central.

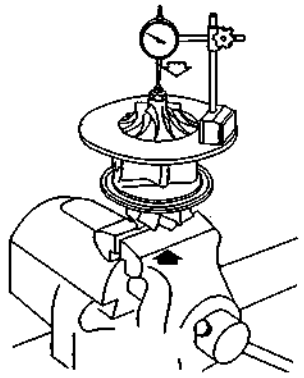


Figura 19. Comprobación del juego axial. Para ello hay que mover alternativamente la caja de la forma que indican las flechas.

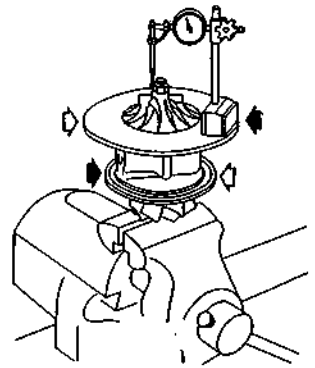


Figura 20. Comprobación del juego diametral. Mover alternativamente del modo que indican las flechas.

en sentido opuesto al anteriormente realizado y leer en el comparador la holgura axial. Para los tamaños de turbocompresores pequeños suelen encontrarse los valores admisibles entre 0,08 a 0,13 mm aunque pueden darse casos de 0,025 a 0,10 mm según el modelo y el fabricante del *turbo*. Estas medidas deben entenderse en el sentido de que si la medición es menor de 0,025 o mayor de 0,10 mm el conjunto rotor deberá repararse o reemplazarse.

Se puede aprovechar la misma posición del conjunto para hacer la medición del juego radial. Es lo que muestra ahora la figura 20. Para ello el palpador se apoya en una de las caras del hexágono de la tuerca extrema de fijación del rodete compresor. Haciendo presión por el cuerpo central hacia arriba y hacia abajo y en sentidos opuestos como indican las flechas, y girando ligeramente el cuerpo, se encontrará un valor mínimo de lectura al acertar el paso por el centro del plano del hexágono de la tuerca. En este punto se pondrá a cero la lectura del comparador. Ahora debe tenerse cuidado de no girar ya los rodetes con respecto al cuerpo, pero se debe hacer presión sobre el cuerpo en sentido contrario al anterior, según indican las flechas, anotando la lectura máxima que no es la holgura real sino un valor amplificado a causa del alejamiento del punto de lectura. El valor de esa lectura para estos tamaños de turbocompresores suele tener que ser inferior a los 0,65 mm.

Si cualquiera de los valores vistos más arriba no son correctos entonces deberá procederse al desmontaje de los rodetes y su eje para cambiar o reparar las piezas que se encuentren en mal estado. Antes de seguir desmontando se marca la posición relativa del rodete del compresor con respecto al eje para que, cuando se tenga que producir el montaje, quede en la misma posición

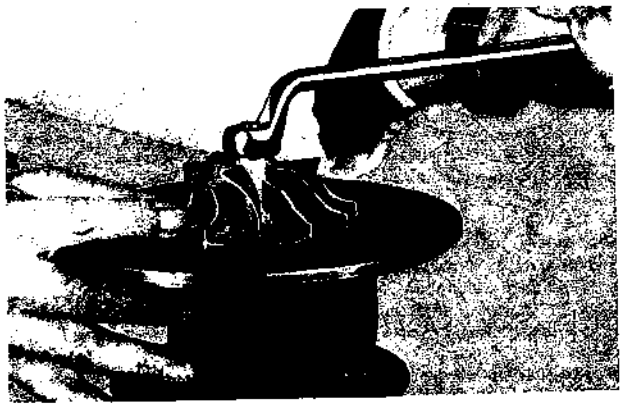


Figura 21. Forma de desmontar la tuerca del rodete del compresor.

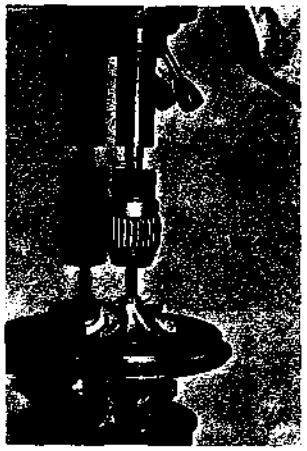


Figura 22. Separación del rodete del compresor del eje de turbina.

inicial. Una vez marcado se sujeta en el tornillo de banco, equipado como antes con mordazas de aluminio o cobre, el conjunto del cuerpo central sujeto por el extremo del rodete de la turbina, y se afloja la tuerca del rodete del compresor, tal como se ve en la figura 21.

Para desmontar ahora el rodete de turbina con su eje, con la finalidad de reparar este conjunto del rodete del compresor, se debe emplear una prensa, una taladradora o los útiles especiales para ejercer un empuje suave sobre el eje, teniendo mucho cuidado de no deformarlo y sobre todo evitar que caiga, en cuyo caso sería fácil que se provocara su deformación o incluso la rotura de alguno de los álabes. En la figura 22 vemos esta fase del proceso de desmontaje del rodete del compresor.

El desmontaje siguiente se lleva a cabo del modo que muestra la nueva figura 23. Utilizando unos alicates de puntas se desmonta el segmento del eje de turbina. A continuación se retira el anillo elástico que sujeta la tapa del cuerpo central, pero claro está que en este caso se deben emplear unos alicates de puntas para cerrar anillos como lo muestra la figura 24.

Con la ayuda de dos destornilladores se retira la tapa del cuerpo central, fase que es la mostrada por la nueva figura 25. Acto seguido se puede separar la tapa y de ella el manguito de retención de aceite, como se ve en la figura 26. De nuevo, con los alicates de puntas para abrir anillos, se retiran los segmentos que aparecen en la figura 27 para desmontar seguidamente el deflector de aceite (Fig. 28), y el primer anillo de empuje, el casquillo, el cojinete axial

Figura 23. Desmontando el anillo de junta del eje del rodete de turbina.

Figura 24. Desmontando el anillo elástico de la tapa del cuerpo central.

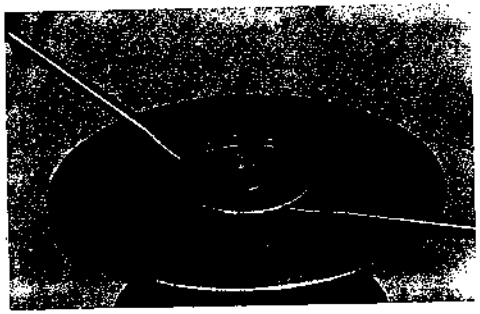


Figura 25. Extracción de la tapa de la caja central.

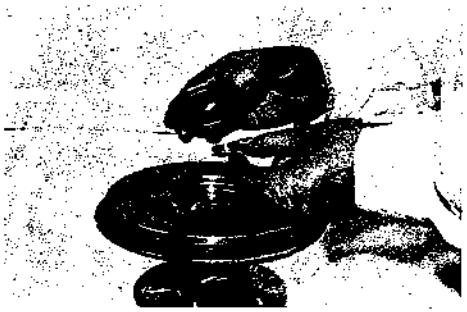


Figura 26. Separación del manguito de retención de aceite.

Figura 27. Desmontando los segmentos.

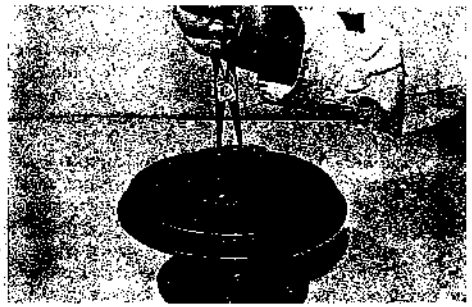


Figura 28. Retirar el deflector de aceite.

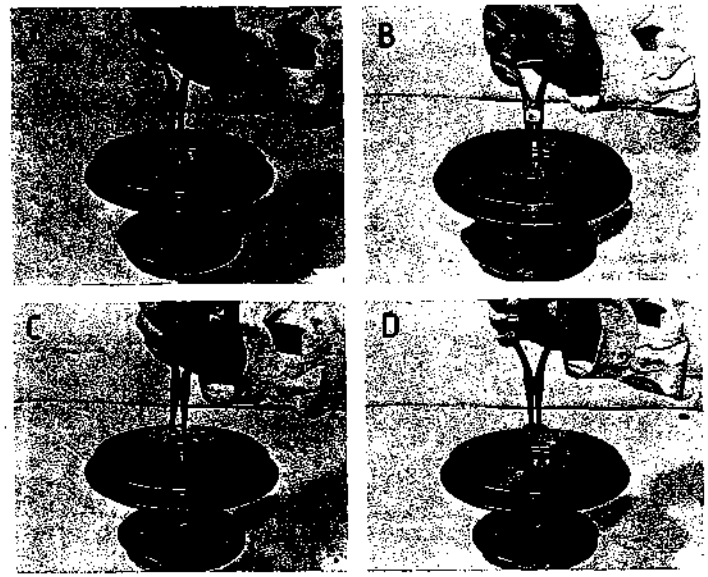


Figura 29. Fases finales del desmontaje. A, retirar el primer anillo de empuje. B, extraer el casquillo. C, desmontar el cojinete axial. D, retirar el segundo anillo de empuje.

y el segundo anillo de empuje como se observa en cada una de las fases que presenta la figura 29.

Armados ahora de alicates de puntas para cerrar anillos, según la figura 30, se retiran el primer anillo elástico, montado en el interior del cuerpo central, el anillo de cojinete, el cojinete, el segundo anillo elástico, el tercer anillo elástico, el otro cojinete, el anillo de este cojinete y, finalmente, el cuarto anillo elástico.

Se invierte ahora la posición del cuerpo central para que quede con el lado de turbina hacia arriba y con los mismos alicates de puntas se desmonta el anillo elástico (Fig. 31) y la placa de protección (Fig. 32).

Una vez desmontado el grupo, se debe proceder a su inspección, limpiezas y sustitución de las piezas que se hallen en malas condiciones. En primer lugar se deberá hacer una inspección visual previa (que completaremos más adelante) pero que será conveniente llevar a cabo antes de la limpieza que será la operación siguiente. En esta inspección anterior a la limpieza se deberá po-

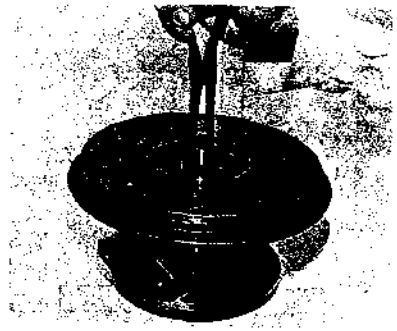


Figura 30. Fases finales del desmontaje por la cara que corresponde al compresor.

Figura 31. Retirar el anillo elástico exterior del lado de la turbina.

Figura 32. Desmontar la placa de protección.

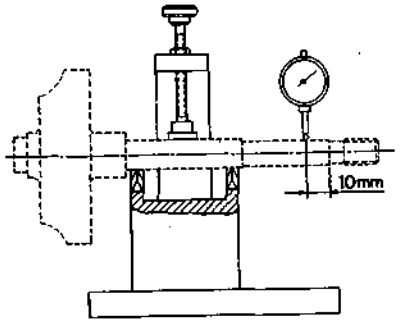


Figura 33. Comprobación del giro concéntrico del eje.

ner atención en ver si existen huellas de erosión, zonas azuladas (quemadas) u otros daños que podrían desaparecer después de la operación de limpieza. Si todo está correcto se puede pasar a efectuar la limpieza. Para ello, todas las piezas que no estén en contacto con los gases de escape se lavarán con algún disolvente de grasas y aceite, como el tricloroltileno, la bencina de lavado, etcétera. La parte de la turbina puede someterse tan sólo a un chorro de líquido lavador, habiendo protegido previamente los apoyos de los cojinetes. Con un cepillo de pelo duro quitar todas las partículas de suciedad y luego secar las piezas minuciosamente.

Hecho esto se pasa a la inspección definitiva del estado de cada uno de los elementos para comprobar si han sufrido deformaciones, desgastes, roturas o agrietamientos. Los elementos que se observarán especialmente serán los siguientes: el cuerpo central y en él la zona de apoyo de los cojinetes, y la zona de roce del segmento del lado de la turbina. El conjunto eje y rodete de turbina hay que examinarlo fijándose especialmente en la posible deformación de los álabes o la desigual carga de todos. Si aparecen grietas sustituirlo por uno nuevo y si está deformado o desigualmente desgastado también se tendrá que pensar en su sustitución. Comprobar el estado de las zonas de roce de los cojinetes. Verificar el giro concéntrico del eje de la turbina del modo que se indica en la figura 33 empleando un comparador. El salto máximo admisible, medido a unos 10 mm del extremo roscado debe ser de 0,01 mm. La tapa del cuerpo central, por si presenta roces y arañazos debe ser observada con toda atención. También hay que comprobar en esta parte si está deteriorada la zona de asiento de los segmentos.

También ha de inspeccionarse en el cuerpo central el manguito de retención de aceite, en el que son importantes el estado superficial, la planitud y el paralelismo de las caras frontales junto con el estado de las ranuras de los segmentos.

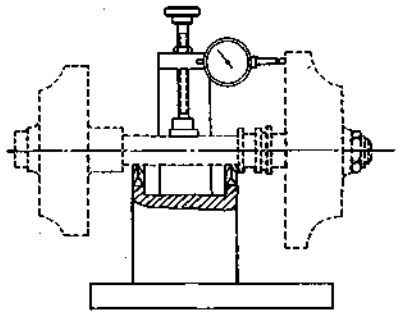


Figura 34. Verificación del alabeo de los rodetes.

En el rodete del compresor hay que inspeccionar especialmente los álabes que pueden presentar los mismos problemas que los de la turbina. Hay que ver que no estén desgastados en bisel ni rasgados y hay que comprobar el alabeo de los rodetes con la ayuda de un comparador y haciendo el montaje que se aprecia en la figura 34.

También se tendrán que inspeccionar los cuerpos tanto del compresor como de la turbina. En estos cuerpos las grietas en paredes interiores no tienen importancia pero las que dan al exterior obligan a sustituirlos. Se debe comprobar que no hayan deformaciones que dificulten el montaje y la planitud de las bridas de acoplamiento. No son admisibles deformaciones superiores a los 0,15 mm.

En cuanto a las carcasas no deben presentar ninguna huella de contacto con piezas rotatorias. Los canales de aceite y de aire deben estar limpios y libres de obstrucciones.

Montaje del turbocompresor

Una vez sustituidas ya las piezas que se hayan encontrado en estado deficiente, y limpias y pulidas las restantes de los pequeños defectos superficiales que se hayan podido observar, se pasará a montar el conjunto, para lo cual se tendrá que proceder de forma inversa a como se ha explicado para el desmontaje. Al llegar al momento de montar el eje con el rodete será de gran utilidad utilizar las marcas que hicimos en el momento del desmontaje, pues ello nos va a permitir encarar el rodete en la misma posición que ocupaba antes, por lo que el conjunto quedará automáticamente equilibrado tal como vino de fábrica. En la figura 35 tenemos estas marcas indicadas por la letra M. Estas son las marcas que deben coincidir.

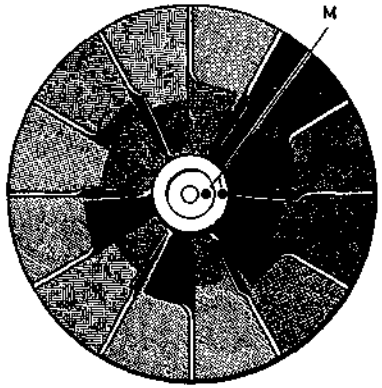


Figura 35. Marcas de posicionado entre eje y rodete señaladas en M.

En cuanto al resto del montaje se lleva a cabo siguiendo los mismos pasos que describimos para el desmontaje pero utilizando la llave dinamométrica para el caso del apriete de las tuercas más importantes. En la figura 36, por ejemplo, tenemos el caso del apriete de la tuerca de sujeción del rodete del compresor. Con respecto al apriete de esta tuerca hay que seguir las instrucciones que para cada *turbo* da su fabricante, puesto que los valores de par de apriete son muy importantes. Como ejemplo veamos una manera de seguir los pasos correctos para el apriete de esta tuerca dada por el fabricante de un turbocompresor: En primer lugar se lubrifica ligeramente la rosca del extremo del eje y la superficie de la tuerca; luego se coloca a mano hasta lo que se pueda y luego se aplica la llave dinamométrica con un par de apriete de 21 a 23 kg cm. A continuación seguir apretando hasta que la longitud del eje aumente de 0,14 a 0,165 mm. Si resulta difícil la medición de esta magnitud se puede hacer también reapretando la tuerca 1/4 de vuelta más después del apriete con la llave dinamométrica al valor señalado.

Por otro lado tenemos en la figura 37 el uso de la llave dinamométrica para el apriete de los tornillos de fijación de la abrazadera.

Una vez montado todo el grupo se pasa a su montaje al motor siguiendo el mismo orden inverso que empleamos para el desmontaje y que ya se explicó en su momento. Hay que comprobar que el aceite llegue sin dificultades al interior del cuerpo central y que todos los tornillos y bridas se hallen bien apretados para que no exista la posibilidad de fugas de presión a través de ellas. Luego ya se podrá proceder a la puesta en marcha del motor para efectuar las pruebas en marcha. A este respecto resulta conveniente observar la siguiente regla: Cuando se ponga en funcionamiento el motor de arranque

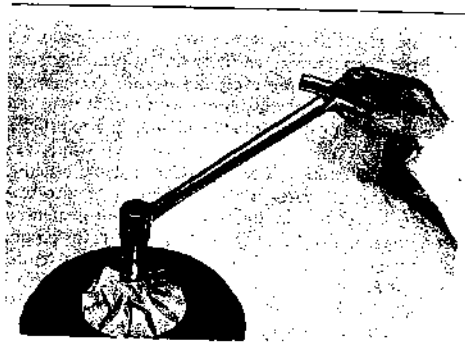


Figura 36. Apretado de la tuerca del rodete del compresor con la ayuda de llave dinamométrica.

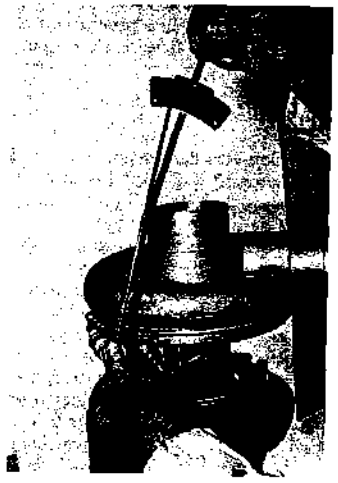


Figura 37. Apretado de las tuercas o tornillos de unión de las cajas.

hacer que en un primer volteo del motor se mantenga cerrado el paso de combustible para dar tiempo al llenado de aceite de la cámara de los cojinetes. Después ya se puede arrancar pero dejando a marcha lenta el motor por lo menos durante dos minutos antes de lanzarse a correr con el coche. Esta práctica es conveniente en todos los casos pero especialmente después de acabar de montar el *turbo*.

Las comprobaciones en marcha se efectuarán primero con la marcha en vacío. Aquí hay que vigilar que el turbocompresor gire bien y no produzca silbidos sospechosos. También es conveniente verificar que la presión de sobrealimentación sea correcta. En estos compresores suele ser de alrededor de 0,60 bar. Para hacer esta medición es preciso disponer de un manómetro que esté provisto de su correspondiente racor de adaptación al *turbo* que se prueba. Generalmente se aplica en un orificio que al respecto que encuentra en la válvula de descarga. Para efectuar esta prueba el motor debe hallarse caliente. Se acelera durante algunos instantes el motor hasta su régimen de giro máximo y luego se toma nota de la presión que indica el manómetro mientras el motor gira en vacío. Un valor inferior a 0,40 bar (en aquellos casos en que la presión debe ser de 0,60 bar máximo) puede ser preocupante. Se tendrá que comprobar que el filtro de aire esté bien limpio y que no hayan obstrucciones para el paso del aire de admisión. Si todo está en orden la causa será sin duda la presencia de fugas a través de las conexiones. Se tendrán que reapretar.

Finalmente, una prueba con el coche podrá asegurarnos el buen estado de la reparación llevada a cabo por las prestaciones que se consigan.

Conclusión

Con esto damos por terminado este capítulo dedicado a los motores sobrealimentados. Todos los motores de este tipo actuales de automóvil van provistos de turbocompresor aunque no es solamente este aparato el único capaz de producir aire precomprimido. Dejando aparte los sistemas volumétricos que absorben una considerable potencia del motor (aun cuando proporcionen una sobrepresión más racional) el *turbo* es la forma más eficaz, por el momento, para la sobrealimentación de un motor Diesel. Sin embargo, se están desarrollando también otros procedimientos que guardan cierta relación con el sistema del *turbo*, también accionados por los gases de escape, que podrían en el futuro constituir una alternativa para este tipo de compresor. Nos referimos al sistema *Comprex* que trabaja por ondas de presión proporcionadas por el intercambio de energía entre los gases de escape y el aire, en cámaras separadas. No hemos pasado a la descripción de este sistema porque todavía está en período de experimentación y tiene algunos inconvenientes, como su gran tamaño, que lo alejan todavía de su uso en los motores Diesel ligeros. Por hoy es el turbocompresor el rey indiscutible de la sobrealimentación de estos motores.

10

PARTE ELECTRICA

Para completar el estudio del motor Diesel en su aplicación a los automóviles nos quedan por considerar todavía aquellas modificaciones en su circuito eléctrico que lo diferencian de la ya hoy complicada instalación eléctrica de un automóvil de gasolina. Por lo pronto sabemos que el motor Diesel carece de sistema eléctrico de encendido de modo que por aquí puede simplificarse la instalación. Pero, por otra parte, el motor Diesel es más difícil de poner en funcionamiento, sobre todo cuando está frío; además, la mayor relación de compresión a que somete al aire aspirado requiere un esfuerzo mucho más grande por parte del motor de arranque. Estos inconvenientes los han resuelto los ingenieros acudiendo a la energía eléctrica y así han aplicado a la cámara de precombustión unas resistencias eléctricas que proporcionan una gran cantidad de calor para calentar las cámaras antes del primer intento de puesta en marcha. Todo ello hace que se precise de una batería de acumuladores de mayor capacidad y de un motor de arranque más potente y, para el buen equilibrio de la instalación, de un alternador también capaz de una mayor producción de energía eléctrica.

Dadas estas condiciones, la parte eléctrica de los motores Diesel sufre algunas modificaciones de cierta importancia en el circuito general, y resulta muy conveniente para un mecánico electricista, acostumbrado a la instalación de los motores de gasolina, conocer las diferencias entre estos circuitos. Este es el objetivo de este breve capítulo.

De lo dicho se deduce que no vamos a entrar en detalles de todos aquellos elementos que son comunes a los automóviles equipados con motores de ex-

plosión y los equipados con motor Diesel, tales como los sistemas de iluminación, señalización, control, limpiaparabrisas, etcétera, sino que vamos a ceñirnos exclusivamente a aquellos lugares en los que hemos de encontrar algunas diferencias.

Dificultades en el arranque

Como ya se ha podido ver por todas las explicaciones que sobre el funcionamiento del motor Diesel hemos dado en páginas anteriores, la propia concepción del ciclo de este tipo de motor lo hace difícil de arrancar, sobre todo cuando el motor está frío y mucho más si a ello se añade el hecho de que la temperatura del aire también sea muy baja. La razón es muy simple: Tratándose de un motor que produce el encendido de la mezcla del gasóleo con el aire en virtud de la temperatura que se alcanza al final de la compresión del mismo, es lógico pensar que se necesite una temperatura mínima por debajo de la cual el autoencendido de la mezcla ya no pueda realizarse. Si bien el aire sometido a una determinada y alta compresión siempre alcanza la misma temperatura, hay que tener en cuenta que ello se produce según la temperatura de que se parte de modo que si el motor aspira el aire a 20 °C la temperatura final de compresión será mayor que si lo aspira a 20 °C bajo cero. Pero además ocurre que las paredes del cilindro están muy frías y el desnivel térmico que se produce es tan considerable que el calor adquirido por el aire es robado de inmediato por las partes frías que lo rodean de modo que, en estas circunstancias, al final de la compresión el aire comprimido puede llenar la cámara a una temperatura excesivamente baja e insuficiente para que el arranque se pueda producir.

Pero a ello hay que añadir todavía más factores. Por ejemplo, el gasóleo está también muy frío, resulta demasiado espeso y no se pulveriza tan fácilmente; el aceite de engrase del motor también está espeso y dificulta el giro de las partes móviles del motor; la batería, al tener frío el electrolito, no puede desarrollar toda su potencia y se agota momentáneamente con gran facilidad, etcétera. Todas estas condiciones adversas para el motor Diesel han sido solucionadas a base de unas resistencias calefactoras que al calentar la cámara de combustión, o bien el aire de admisión, consiguen que las pérdidas de calor del aire comprimido sean lo suficientemente pequeñas para que la temperatura de autoencendido del gasóleo se mantenga y el arranque sea posible. Por supuesto, después que el motor ya ha conseguido arrancar el calor que genera la combustión se va acumulando y se consigue con ello que el conjunto se vaya calentando de modo que la temperatura de autoencendido se va incrementando poco a poco hasta el momento en que el motor ya está en condiciones convenientes para arrastrar al vehículo al que propulsa.

En los motores de inyección indirecta la puesta en marcha es todavía más difícil que en los motores de inyección directa, de ahí la absoluta necesidad del empleo de las bujías de precalentamiento que hemos visto en todos los ejemplos que hemos puesto a lo largo de este libro formando parte de las

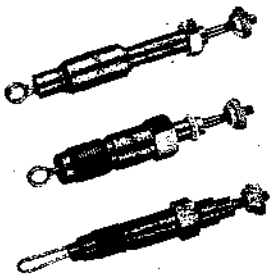


Figura 1. Diferentes tipos de bujías de incandescencia o de precalentamiento.

cámaras de turbulencia. Veamos a continuación qué son y cómo funcionan estos elementos.

Bujías de precalentamiento

Las *bujías de precalentamiento*, también conocidas con el nombre de *bujías de incandescencia*, son en realidad unos calefactores que desarrollan gran cantidad de calor al ponerse incandescentes sus filamentos por el paso de una corriente eléctrica a través de ellos. En la figura 1 tenemos tres tipos diferentes de bujías de este tipo.

En la figura 2 podemos ver la sencilla constitución interna de una bujía de precalentamiento. Está constituída por una espiral de hilo de alta resistividad eléctrica, de un diámetro que oscila entre 2 a 3 mm. Este cuerpo tubular se fija al bloque del cilindro por medio de una tuerca hexagonal (A) que lleva el roscado exteriormente. El aislamiento entre el cuerpo tubular y el bloque del cilindro está asegurado por medio de un aislante. Cuando la corriente eléctrica atraviesa el filamento lo pone incandescente por el mismo principio utilizado en las estufas eléctricas de incandescencia, de modo que se irradia una gran cantidad de calor que puede ser del orden de los 800 °C . Si en cada una de las precámaras de combustión se dejan conectadas estas bujías durante 30 a 60 segundos antes de intentar la puesta en marcha del motor se consigue que las precámaras se calienten a una buena temperatura que luego se trasladará al aire comprimido haciendo que éste proporcione una buena temperatura de autoencendido para el combustible. Esta es la misión de estas bujías.

Una vez el motor ya caliente las bujías se desconectan y el motor se pone en marcha y funciona ya con su propia temperatura.

En la figura 3 puede ver el lector la disposición que unas de estas bujías adopta en una cámara de turbulencia de tipo Ricardo.

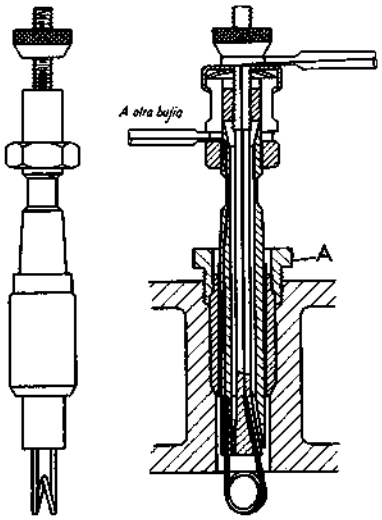


Figura 2. Constitución interna de una bujía de precalentamiento de filamento incandescente. A, tuerca hexagonal.

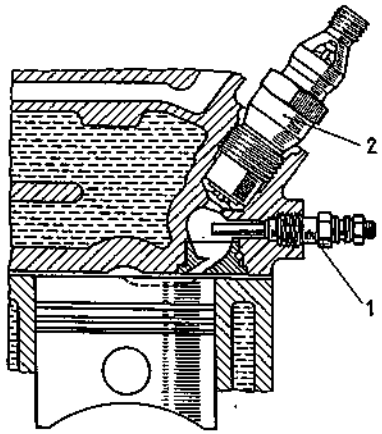


Figura 3. Situación que ocupa una bujía de precalentamiento en una cámara de turbulencia. 1, bujía. 2, inyector.

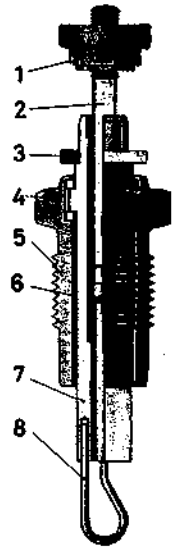


Figura 4. Bujía de precalentamiento de la marca BERU, de filamento incandescente.

Diferentes clases de bujías

Existen dos tipos de bujías de precalentamiento que son aplicadas según el diseño del motor. Un tipo más antiguo es el denominado de filamento incandescente que puede verse en la figura 4 en una vista seccionada para mostrar con detalle su constitución interna. La característica fundamental de esta bujía está representada por el hecho de que lleva su filamento (8) al aire y por ello se mantiene permanentemente en contacto con la combustión cuando la bujía ya está apagada, pero queda perjudicada por los efectos corrosivos de la combustión durante todo el periodo de funcionamiento del motor. La corriente eléctrica entra a través de la conexión de la tuerca (1), atraviesa el electrodo central (2), se pone incandescente en el filamento de alta resistividad (8) y retorna por el electrodo de retorno (7) hasta el anillo de contacto (3) donde una conexión la lleva a la próxima bujía. En su interior se hallan la junta de estanqueidad (6) de efecto aislante y el cuerpo de acero (4) con su rosca (5) para aplicarse a la culata del mismo modo que lo hacen las bujías de encendido en los motores de gasolina corrientes.

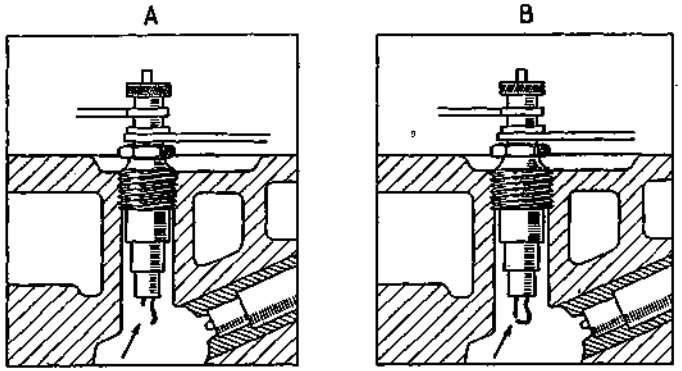


Figura 5. Posibles averías de las bujías de precalentamiento por rotura de su filamento.

El elemento fundamental de esta bujía de precalentamiento lo forma sin duda el trozo de conductor que forma el filamento incandescente. Se fabrica de tungsteno y ha de ser en la mayor manera posible resistente a los productos corrosivos de la combustión como se ha dicho, pero también a las vibraciones y a las altas temperaturas. Por ello su colocación en la cámara ha de estar estudiada de modo que no le llegue a alcanzar directamente el dardo o chorro de gasóleo procedente del inyector, pues ello acelera su corrosión y acaba por deteriorar el filamento.

Aunque estas bujías de precalentamiento trabajan muy poco (solamente en el momento de los arranques en frío) están sometidas a todas las acciones de las altas presiones que se establecen en la cámara por lo que su desgaste se produce también de una manera paulatina. Cuando una de estas bujías no funciona lo más probable es que se haya partido el filamento produciendo una interrupción en el paso de la corriente. Tal es el caso presentado en la figura 5 en la que se pueden apreciar dos casos ocasionados por dos diferentes causas: En A tenemos una situación de rotura del filamento con desaparición de parte del mismo debido a un sobreexceso de temperatura que puede haber estado causado por una inyección excesivamente atrasada o adelantada con un caudal excesivo por parte de la bomba o un mal tarado de los inyectores. En B, el filamento sencillamente se ha partido produciendo la discontinuidad, situación típica de un exceso de tensión ocasionado por cortocircuitos de las otras bujías que se hallan conectadas en serie con ella, o bien por una conexión defectuosa.

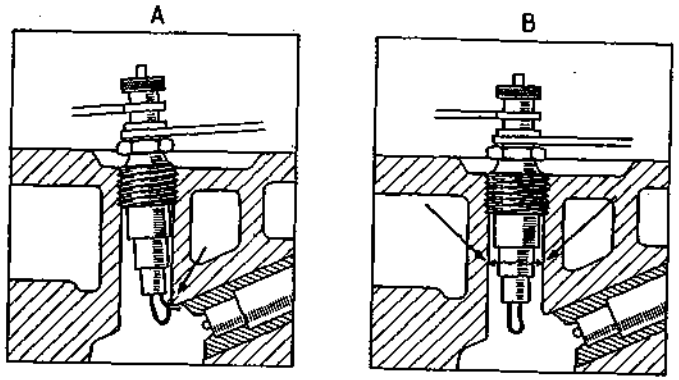


Figura 6. Posibles averías de las bujías de precalentamiento por mala colocación de las mismas.

También la mala colocación de la bujía de precalentamiento puede ser causa de problemas. En la figura 6 tenemos en A una mala colocación que ha dejado a la bujía en contacto con las paredes de la cámara con las que hace contacto y queda en cortocircuito. En B nos encontramos también con una situación de cortocircuito pero esta vez ocasionada por un exceso de carbonilla en la zona de asiento y sus proximidades que pueden establecer contacto entre las paredes de la cámara y el filamento de tungsteno.

Las bujías de este tipo descrito liberan mucho calor en el momento de su aplicación y el hecho de que su filamento esté al descubierto facilita esta circunstancia pero, por otra parte, produce todos los efectos que hemos dicho y hace que sea una pieza demasiado delicada, pese a su robustez. Por ello se ha acudido a fabricar bujías de precalentamiento de las llamadas de *tipo lápiz* o de resistencia envainada que, siguiendo la misma teoría, lo que hacen es proteger al filamento de todos los agentes nocivos que pueden atacarlo por medio de una cubierta protectora. Una bujía de este tipo la tenemos en la figura 7. Comparando esta figura con lo que hemos visto en la pasada figura 4 podremos ver que la diferencia es, fundamentalmente, en lo que respecta a la cubierta protectora (7) y en la disposición del filamento que se halla sumergido en material cerámico perfectamente aislado de los efectos corrosivos de la combustión.

Las bujías de tipo lápiz son las más utilizadas actualmente para los motores Diesel de precámara de turbulencia que equipan a los automóviles, ya que resultan muy seguras y de largo período de funcionamiento incluso aunque

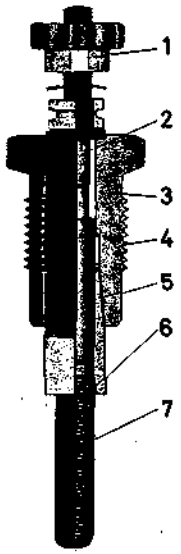


Figura 7. Bujía de precalentamiento de tipo lápiz, de la marca BERU mostrando su constitución interior. 1, tuerca de conexión. 2, electrodo central. 3, cuerpo. 4, rosca. 5, junta. 6, filamento. 7, cubierta protectora.

el gasóleo de la inyección incida sobre ellas. Aunque su poder calorífico resulte algo menor, la gran ventaja de la protección de su filamento permite colocarlas en situación muy favorable para el calentamiento del aire cuando, en su turbulencia, se enfrenta al chorro del inyector por lo que mejoran el rendimiento del calentamiento del aire.

Conexión de las bujías de precalentamiento

Desde el punto de vista eléctrico existen dos formas de conectar las bujías de precalentamiento: O bien en serie, en cuyo circuito la corriente pasa sucesivamente por cada una de las bujías, o, bien en paralelo, por cuyo circuito la corriente llega a cada una de las bujías al mismo tiempo y vuelve a masa desde cada una de las bujías.

El segundo sistema es el más utilizado en las instalaciones modernas. Un ejemplo del mismo se puede ver en la figura 8 en la que se muestra el cableado de la instalación eléctrica de un RENAULT, modelo *11*, equipado con motor Diesel. Por supuesto, este fragmento del esquema eléctrico de este automóvil

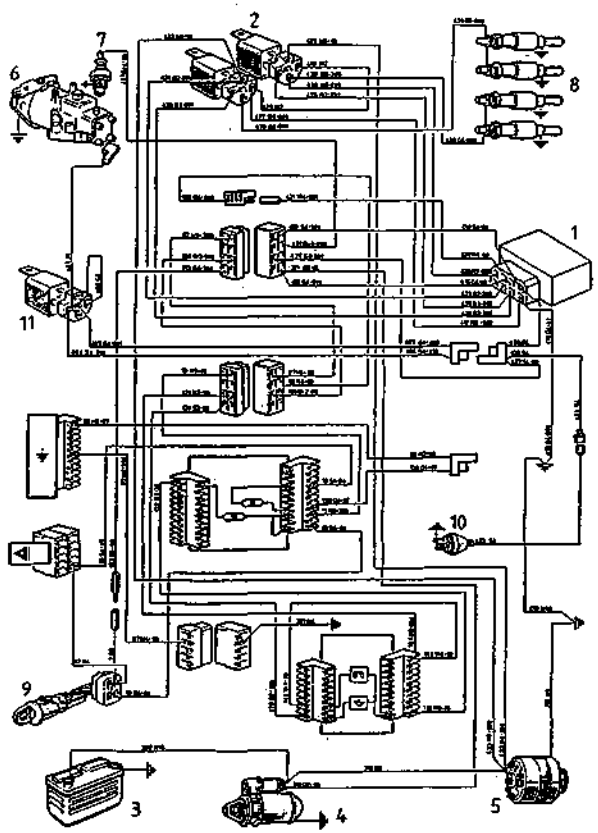


Figura 8. Esquema eléctrico parcial de un automóvil RENAULT que muestra la disposición de la parte eléctrica propia del motor Diesel. 1, caja de distribución para el precalentamiento. 2, relés de las bujías de precalentamiento. 3, batería de acumuladores. 4, motor de arranque. 5, alternador. 6, bomba inyectora. 7, electroválvula de stop en la bomba. 8, bujías de precalentamiento. 9, llave de contacto. 10, manocontacto de la presión de aceite. 11, relé del contactor de avance.

se refiere exclusivamente a la parte de las bujías de precalentamiento (8) y a la parte eléctrica de la bomba de inyección (6) correspondiente al avance. En esta figura vemos la caja de distribución para el precalentamiento (1) que lleva la corriente a los relés (2) de las bujías. También puede verse que las bujías se hallan conectadas en paralelo.

La conexión en serie tiene el inconveniente de que, en el caso de interrupción o cortocircuito de algún filamento o bujía queda automáticamente cortada la alimentación de las otras bujías del conjunto, cosa que no ocurre en la conexión en paralelo. Aquí, el fallo de una bujía no afecta al funcionamiento de las restantes. La luz testigo de que dispone el conductor en el panel de instrumentos del automóvil le avisa cuando una bujía no funciona porque se enciende muy débilmente. Si la luz testigo se enciende de una manera brillante en el mismo momento de conectar las bujías será señal de que un grupo importante de bujías está en cortocircuito y se tendrá que desconectar rápidamente pues hay peligro de que se funda la luz testigo.

Puesta en marcha

En los manuales del usuario de todos los automóviles equipados con motor Diesel se dan las instrucciones precisas para conseguir una buena y rápida puesta en marcha del motor en todas las condiciones. Hay que seguir las instrucciones dadas. En líneas generales la forma de actuar es la que vamos a explicar a continuación aunque es siempre necesario seguir las normas que da el fabricante del motor si éstas no se ajustan del todo a las que vamos a exponer, pues cada modelo de motor puede tener pequeñas variantes según la potencia de su instalación o el sistema adoptado.

Cuando está equipado con bujías de precalentamiento, que es lo más normal, las bujías han de conectarse antes de tratar de poner en marcha el motor cuando éste está frío. Se tendrá que esperar a que se calienten las cámaras un periodo de tiempo que puede variar entre 30 a 60 segundos según el estado de la temperatura ambiente y el tiempo que hace que el motor no se ha puesto en marcha y por lo tanto está completamente frío. Pasado el tiempo citado se desconectan las bujías de precalentamiento e inmediatamente se acciona al motor de arranque haciendo que voltee el motor hasta que éste se ponga en marcha por sus propios medios. Por supuesto, no hay que abusar del tiempo en que el motor de arranque eléctrico está conectado pues ello descargaría rápidamente la batería de acumuladores; por lo tanto, los golpes de motor de arranque no deben ser superiores a los 5 ó 6 segundos.

Si en un primer intento el motor no se pone en marcha puede ser debido a un exceso de frío en el mismo y a una insuficiente aplicación de las bujías de precalentamiento. Esperar unos momentos para que la batería se reponga y conectar de nuevo las bujías del modo descrito anteriormente. Luego desconectarlas de nuevo y volver a intentar con el motor de arranque. El motor ha de ponerse en marcha. Si no lo hace es que, psiblemente, tiene alguna avería que es conveniente localizar antes de insistir inútilmente.

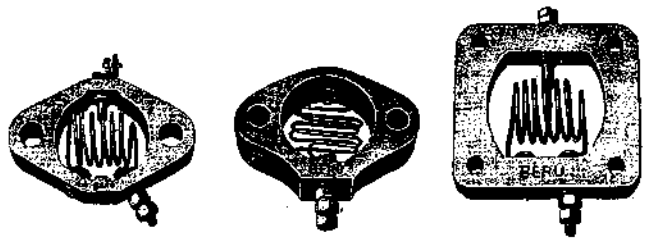


Figura 9. Diferentes clases de resistencias de calentamiento del aire de admisión.

En los motores equipados con turbocompresor resulta conveniente tomar la precaución de mantener cerrado el paso del combustible en un primer volteo del motor de arranque para lograr inicialmente que el aceite se ponga en circulación y acuda al engrase del *turbo*. Luego ya puede procederse de manera habitual, pero teniendo la precaución de mantener el motor por lo menos durante dos minutos funcionando en marcha en vacío para lograr que el engrase del rodete se efectúe con toda regularidad. También resulta conveniente tomar medidas cuando se lleva *turbo* para efectuar la parada del motor. No es recomendable parar bruscamente el motor si éste está totalmente acelerado, por el contrario se aconseja mantener a ralentí el motor durante unos dos minutos antes de proceder a su parada.

Resistencias de calentamiento de la admisión

Especialmente en los motores de inyección directa, en los que la puesta en marcha resulta mucho más fácil que en los de inyección indirecta, se suelen utilizar resistencias de calentamiento en la admisión para que el aire, al pasar por ellas, se caliente y mejore sus condiciones de temperatura al final de la compresión.

En la figura 9 podemos ver tres ejemplos diferentes de resistencias de este tipo. Se instalan, por medio de tornillos, en el mismo colector de admisión, a la entrada del mismo y después del filtro de aire, de modo que éste debe atravesar la resistencia para entrar en el colector y de allí al cilindro. (Una instalación semejante la vimos también en la figura 9 del pasado capítulo 9 cuando, al estudiar el turbocompresor y sus problemas, indicamos la necesidad de calentar el aire producido por los *turbos* en el momento del arranque por el efecto de pérdida de temperatura que se producía inicialmente al tener una relación de compresión más baja que un motor atmosférico, en el momento del arranque).

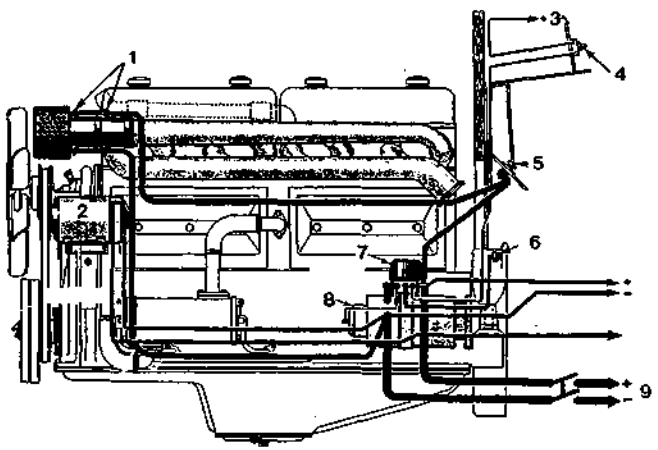


Figura 10. Conexión de los cables en la resistencia de calentamiento. 1, resistencias de calentamiento. 2, generador. 3, conexión de la batería al amperímetro. 4, botón de puesta en marcha. 5, contactor de la resistencia. 6, toma de corriente de la corona. 7, relé de arranque. 8, motor de arranque. 9, A la batería.

El conjunto de la instalación eléctrica de unas resistencias de calentamiento de la admisión puede verse ahora en la figura 10. La corriente, procedente de la batería por 9 pasa al conmutador de la resistencia (5) que establece el circuito hacia las resistencias (1) colocadas en el colector de admisión. Luego puede verse su retorno a masa a través del cable.

Estas resistencias tienen también un elevado consumo y no hay que abusar del tiempo de su conexión; pero tienen también la ventaja de que pueden conectarse incluso en marcha cuando el ambiente exterior resulte extraordinariamente frío y el motor tenga dificultades de conseguir su temperatura de régimen. En este caso, unos periodos cortos de aplicación pueden servir para mejorar la temperatura de funcionamiento.

Conclusión

No vamos a extendernos más en la parte eléctrica del automóvil puesto que este tema es trabajo de especialistas y a él ya dedicamos dos tomos de esta misma Enciclopedia. Nuestro interés aquí ha sido simplemente destacar una parte eléctrica original que no tiene porqué encontrarse en los automóviles equipados con motor de gasolina. Todo lo demás es igual en un automóvil dotado de motor Diesel salvando solamente esta variante en el circuito de encendido y en la mayor potencia de ciertos elementos que hemos indicado, la cual viene además respaldada por la mayor cilindrada proporcional que el motor Diesel tiene con respecto al motor de gasolina que equipe a un automóvil. Está claro que si una versión gasolina se equipa con un motor de 1.200 cm^3 por ejemplo, y la versión Diesel se equipa con un motor de 1.700 cm^3, por el solo hecho de su mayor cilindrada, este motor va a necesitar un motor de arranque más potente (lo que se agrava además por el mayor peso de su tren alternativo, su más elevada compresión y un mayor esfuerzo para el arrastre inicial de todas estas masas) y en su consecuencia una batería de mayor capacidad y un alternador de mayor poder de producción de corriente. Pero al margen de todas estas variantes un mecánico electricista no se encuentra en absoluto incómodo dentro de una instalación eléctrica de automóvil dotado con el motor Diesel.

11

LOCALIZACION DE AVERIAS

Vamos a dedicar este capítulo a dar al lector una orientación de tipo general sobre la localización de averías en un motor Diesel ligero haciendo especial hincapié en aquellos aspectos en que el motor Diesel se diferencia del motor de gasolina. Así, pues, dedicaremos especial atención a los defectos que puedan estar ocasionados por el irregular funcionamiento de la inyección y por el análisis de los humos de escape, con preferencia a las averías de tipo eléctrico o mecánico en aquellas partes en que se presenten síntomas y soluciones iguales para el motor de chispa. Siguiendo el mismo criterio, tampoco vamos a hablar de las averías propias de otros elementos mecánicos comunes como pueden ser el embrague, el cambio, el diferencial, la suspensión, dirección, etcétera, ya que ello entra de pleno en los conocimientos de un mecánico de automóviles y se ha tratado además con extensión en otros tomos de esta Enciclopedia dedicados a estas materias concretas. Por lo tanto, vamos a ceñirnos al estudio de las averías a través de sus síntomas, pero muy directamente relacionadas con el motor Diesel que básicamente equipa a los automóviles.

Para llevar a cabo este estudio de la localización de averías y hacerlo lo más práctico posible para el lector, lo vamos a dividir en las seis partes siguientes que pretenden ser los síntomas fundamentales y generales sobre los

que se basan nuestras investigaciones para la localización de las averías. Estos seis síntomas son:

A. Dificultades en el arranque
B. Funcionamiento defectuoso del motor
C. Ruidos anormales del motor
D. Consumo excesivo
E. Análisis de humos
F. Vibraciones.

Veamos cada una de estas partes por separado.

A. Dificultades en el arranque

Por supuesto que este síntoma ha de entenderse como dificultades en el arranque que vayan más allá de lo normal en los motores Diesel teniendo siempre en cuenta la temperatura ambiente a la hora de solicitar la puesta en marcha del motor. También un automóvil que haya permanecido toda la noche a la intemperie tendrá más dificultad de lo habitual para su puesta en marcha con respecto a los vehículos que permanecen en un garaje. Hasta aquí, ello no sería de hecho un síntoma de avería. El síntoma sí estaría provocado por una avería si se produce en las siguientes condiciones:

1. El motor Diesel no gira al conectar el motor de arranque
2. El motor Diesel gira pero no arranca
3. El motor arranca pero se para.

Vamos a analizar a continuación las posibles causas de estas irregularidades y las zonas que hay que verificar en el motor u otros órganos para encontrar la causa de la posible avería.

1. El motor Diesel no gira al conectar el motor de arranque

A primera vista parece que podría ser el motor de arranque eléctrico el causante de esta anomalía, pero la realidad es que hemos de considerar tres puntos fundamentales que son:

a) revisión del motor de arranque
b) revisión de la batería
c) revisión del estado del motor térmico.

a) Revisión del motor de arranque

Es probable que el motor de arranque eléctrico se encuentre en mal estado. Si al darle al mando de conexión no se oye ruido alguno, es decir, se

comporta como si estuviera desconectado de la red, la causa puede ser debida a la batería (como veremos dentro de poco) por el hecho de que no le mande corriente, pero también puede ser que el motor no la reciba en sus bobinados. Habrá que ver que el colector o las escobillas no estén desgastadas o sucias así como que se hayan producido cortocircuitos en sus bobinados. También será conveniente verificar que no exista alguna borna desconectada, así como alguna interrupción en el solenoide o relé del motor de arranque. Este sería trabajo de electricista de automóviles.

Si al darle al mando de conexión se oye un ruido de conexión del piñón a la corona y un ligero silbido, el defecto puede ser de la batería que no se halle lo suficientemente cargada del modo que ya veremos muy pronto. También el piñón puede haberse trabado o no engranar. Se tendrá que revisar el motor de arranque.

b) Revisión de la batería

La batería puede hallarse en bajo estado de carga y resultar insuficiente su reserva de energía eléctrica para vencer el esfuerzo necesario para hacer girar el motor. Pero la batería tiene que estar en un estado de carga muy bajo para no mover, siquiera sea muy ligeramente y durante muy poco tiempo, al motor de arranque. Si el motor de arranque no gira pero se encienden las luces, por ejemplo, podría muy bien ser que el borne de masa de la batería no hiciera un buen contacto o masa. Conviene desconectarlo, limpiarlo bien, y volverlo a apretar sobre el borne de la batería para permitir un buen regreso de la corriente al polo de retorno.

Si la batería está completamente descargada se tendrá que producir la puesta en marcha del motor por otros procedimientos, especialmente con el uso de una batería en buen estado.

c) Revisión del estado del motor térmico

Nos referimos aquí a que el motor Diesel no se halle trabado de alguna manera que dificulte su giro. Comprobar que el motor no tenga dificultades de tipo excepcional para llevar a cabo su giro.

2. El motor Diesel gira pero no arranca

Ante este caso hay que distinguir dos posibilidades probables que son:

a) El motor gira, pero lo hace lentamente
b) El motor gira normalmente, pero no arranca.

Veamos con atención cada uno de estos casos, pero con mayor atención el segundo que puede ser el más frecuente.

a) El motor gira, pero lo hace lentamente

Si el motor Diesel no alcanza un número de r/min mínimo, que suele estar por encima de las 200 r/min, en el momento del arranque puede tener dificultades importantes. El motor de arranque eléctrico y la batería han de formar un conjunto que pueda trabajar coordinado en buenas condiciones de suministro eléctrico. Aquí hay que revisar que el borne de masa de la batería esté bien conectado a la masa del automóvil y también, por supuesto, el estado de carga de la batería.

Una resistencia anormal del motor puede provenir de hallarse el aceite demasiado espeso, sobre todo el tiempo muy frío. También una avería de engrase que deje sin éste a todo el motor aumenta su resistencia, y además, cuando esto se produce, la puesta en marcha es peligrosa. Conviene vigilar si el manómetro de presión de aceite se mueve. Resistencia anormal del motor también se puede producir en caso contrario, es decir, que el motor esté excesivamente caliente con todas sus piezas muy dilatadas y consecuentemente duro de mover.

b) El motor gira normalmente, pero no arranca

Ante este síntoma son muchas las causas que pueden provocar esta situación hasta un punto tal que va a ser conveniente que a su vez subdividamos este apartado en un amplio grupo de cinco grandes causas posibles, las cuales describiremos por separado. Estas causas pueden ser:

1b. Poco tiempo en el uso de las bujías de precalentamiento
2b. Filtro de aire obturado
3b. Alimentación de combustible defectuosa
4b. Calado incorrecto de la inyección
5b. Compresión insuficiente.

1b. Poco tiempo en el uso de las bujías de precalentamiento

En el capítulo anterior, el número 10, ya hablamos de las condiciones en que debe efectuarse la conexión de las bujías de precalentamiento para hacer fácil el arranque del motor. Puede darse el caso de que alguna bujía no funcione (o no funcionen varias) de modo que la puesta en marcha en frío se dificulta bastante en los motores de precámara. Comprobar con una lámpara de pruebas que todas las bujías funcionen debidamente en el caso de la instalación en serie, o bien revisando el estado de cada bujía en el caso de una instalación en paralelo.

2b. Filtro de aire obturado

Comprobar que la entrada de aire se produzca sin impedimentos especialmente restrictivos. No olvidemos que el motor Diesel logra el encendido por la alta temperatura resultante de la compresión del aire. Si el suministro de éste queda dificultado, la compresión es mucho menor. Comprobar pues, el estado del filtro.

3b. Alimentación de combustible defectuosa

Si hay irregularidades en la llegada del combustible hasta la bomba y de ésta a la cámara de combustión a través de los inyectores, la puesta en marcha resulta imposible o muy dificultosa, según los casos. Lo primero que hay que observar es si llega combustible hasta la bomba, y puestos ya a hacerlo, comencemos por el principio. Verificar, en primer lugar, si hay combustible en el depósito. Si hay combustible veamos hasta dónde llega éste comprobando con la bomba de alimentación manual si el combustible llega hasta ella. Si no lo hace podemos contar con que existan obstrucciones en los conductos desde aquí hasta el depósito, que se tendrán que repasar y limpiar. No cabe tampoco descartar la posibilidad, en esta prueba, de que sea la misma bomba de alimentación la que se halle en mal estado. Comprobar que el gasóleo llegue hasta el filtro principal, y aflojando el tornillo de purga, comprobar que el gasóleo no tenga burbujas de aire y esté mal cebado el circuito. No olvidar comprobar también el cebado del circuito desde la bomba al inyector, en cada uno de sus conductos, para eliminar la posibilidad de grandes depósitos de aire en ellos.

Si se han encontrado algunos de los fallos anteriormente mencionados, y se ha procedido a subsanar el inconveniente, el motor debe arrancar, pero si no lo hace revisar a fondo la bomba de alimentación para ver que no esté mal montada, que tenga la membrana rota (en el caso de las bombas de este tipo) o las paletas o los muelles rotos, gastados o cedidos en otros tipos de bombas que ya estudiamos en su momento.

Si todo ello no ofrece dudas tendremos que fijarnos en la bomba de inyección y dentro de ella especialmente en el regulador. El mando de paro puede hallarse atascado o corrido colocando a la bomba en posición de no suministro. También las palancas pueden estar trabadas e incluso los topes pueden encontrarse en una posición incorrecta.

Si también esta parte está correcta, pasaremos a verificar la bomba propiamente dicha en la que es fácil que la dosadora esté mal conectada o que haya algún fallo de accionamiento que no permita la inyección. Llegados hasta aquí sin haber resuelto el problema, procederemos al repaso de los inyectores, aunque sería verdaderamente un caso extraordinario que todos los inyectores se encontraran en malas condiciones al mismo tiempo de modo que no se pudiera conseguir inyección alguna.

Si todo lo que hemos visto hasta aquí está correcto (cosa ya poco probable si el motor Diesel giraba bien pero no se ponía en marcha) convendrá tener en cuenta la posibilidad de que haya agua en el combustible, característica que se suele dar mucho en el gasóleo y para lo cual se tienen los filtros decantadores de agua que ya vimos en su lugar. Comprobar que el agua de estos filtros tenga un nivel bajo.

Por último, si todo lo que hemos dicho hasta aquí se encuentra en un estado aceptable tendremos que desechar este síntoma y pasar a ver el que sigue.

4b. Calado incorrecto de la inyección

Cuando la inyección es buena pero el motor no arranca podemos encontrar una nueva causa en el muy mal calado de la bomba de inyección, de modo que mande el combustible al máximo de destiempo, lo que dificultaría el arranque y, en caso de ponerse en marcha, el funcionamiento sería del todo anormal. Conviene revisar las marcas de puesta a punto del modo que ya se explicó en el capítulo 8. Podría haber ocurrido que la bomba se hubiera aflojado y se hubiera desplazado de su posición de puesta a punto, aunque ello es bastante poco probable.

5b. Compresión insuficiente

Ya sabemos que una compresión excesivamente baja puede ser una buena razón para que el aire no adquiera su temperatura mínima de compresión que haga posible el autoencendido del combustible. Esta falta de compresión puede estar provocada por fugas a través de muchos órganos mecánicos que tienen relación con la zona de la cámara de combustión. Por el momento se puede culpar al émbolo, los aros y los cilindros de esta falta de estanqueidad, ya sea por ovalización del cilindro, rotura de aros o pegado de los mismos, por residuos gomosos u otras causas de origen mecánico que son bien conocidas.

También el hecho de que las válvulas estén quemadas, o muy desgastadas o deformadas, puede ser causa de fugas en la compresión que dejen a ésta con un valor demasiado pobre.

Si hay fugas por rotura de la junta de culata y comunicación con el exterior de la zona alta del cilindro o bien grietas en la misma culata que permiten el paso del aire a su alta presión de compresión o, a la inversa, que por las grietas pase el agua de la refrigeracion al interior del cilindro, todo ello puede ser causa también de una mala compresión y de la dificultad de puesta en marcha. Será conveniente probar con un compresímetro el estado del valor de la compresión, y los valores logrados nos darán la evidencia de si se trata de éste el defecto que hace tan difícil la puesta en marcha del motor.

Pasemos ya a ver otro de los síntomas que hemos programado en este apartado y que puede ocurrir según el comportamiento del motor.

3. El motor arranca pero se para

Este es un síntoma que anuncia que el motor se ahoga, es decir, le faltan: o bien el aire o bien el combustible. La forma de proceder para averiguar la causa que puede provocar esta avería pasa por la comprobación de los filtros

de combustible. Puede que se halle totalmente saturada la suciedad en ambos, o en uno de ellos, de modo que se impida el paso del suficiente combustible que sea capaz de mantener la marcha del motor una vez se haya agotado la reserva que inicialmente existía en la bomba de inyección. Hay que revisar el estado del cartucho filtrante.

Una buena dosis de aspiración de aire junto con el combustible puede producir ahogos del motor en cuanto haya arrancado. Habrá que revisar con atención si hay empalmes defectuosos por los que pueda penetrar el aire, y revisar que la purga del circuito se haya llevado a cabo de una manera efectiva, pues la presencia de aire ya sabemos que hace que el volumen del caudal de combustible mandado al inyector sea menor y a veces incluso nulo según la cantidad de aire que esté presente en el circuito. Ya se estudió en el capítulo 8 la forma de proceder para el sangrado tanto del conducto de alimentación como del conducto de impulsión a cada uno de los inyectores.

Pero el ahogo que ahora estamos comentando no solamente puede provenir de una falta de caudal del combustible. También el paso dificultoso del aire hacia el motor por la válvula de aspiración puede verse demasiado oprimido por la presencia de un filtro muy sucio. Si éste se hallara obturado, ya hemos visto que la puesta en marcha del motor hubiera sido muy difícil o imposible; pero si su grado de obstrucción no es total, pero sí muy avanzado, también puede ocasionar dificultades de mala alimentación de aire en cada tiempo de aspiración del motor con lo que éste podría arrancar, pero pasaría a pararse al poco tiempo y desde luego no aceptaría el régimen de plena carga.

Otra causa que no hay que perder de vista en este síntoma es la posibilidad de que se halle obturado el orificio de aireación del depósito de combustible de modo que se cree el vacío y se impida la salida de combustible del mismo. Esta avería también es posible en los motores de gasolina, como sabemos.

Al síntoma de que el motor arranca pero se para se le pueden añadir muchas de las causas que hemos visto en el caso de que el motor no arranque, aunque esta vez en menor estado de deterioro. Todas las causas que hemos señalado en el apartado 5b, relativas a una compresión insuficiente, pueden ser también origen del defecto a que nos estamos refiriendo. El mal estado de una junta, los cilindros ovalizados, los aros gastados, las válvulas quemadas, etcétera, en un grado de deterioro menor, podrían permitir la puesta en marcha del motor pero no soportar su giro al poco rato de funcionamiento.

Tampoco hay que olvidar la posibilidad de que el tubo de escape se halle en malas condiciones y dificulte mucho la salida de los gases. Comprobarlo.

Cuando se hacen pruebas para tratar de arrancar el motor y éste presenta sus dificultades tal como hemos estado viendo en todos estos supuestos, puede ocurrir que a la hora de arrancar se produzcan fuertes estampidos. En general, cuando se han tenido que hacer repetidos tanteos de arranque, el combustible, en mayor o menor cantidad, ha ido entrando en los cilindros y se ha condensado en las cámaras dando mucha compresión y un gran exceso de combustible cuando finalmente se consigue el encendido. En estos casos el fenómeno no tiene importancia y desaparece por sí mismo a la segunda o

tercera vueltas del motor con abundante humeo en el escape y los fuertes estampidos que hemos señalado. Esto no puede considerarse una avería sino un efecto lógico del funcionamiento del motor. Pero si el defecto no desaparece muy pronto será preciso localizarlo ya sea en fugas, derrames o goteo del inyector, ya sea en un error de dosado de la bomba de inyección que proporciona más combustible del preciso para el momento del arranque.

Mal funcionamiento de la marcha en vacío

Si el motor arranca normalmente pero se para cuando se pone a ralentí o tiene un ralentí muy defectuoso se tendrá que mirar, en primer lugar, que el reglaje de la marcha en vacío sea correcto. El sistema de hacer esta comprobación ya fue explicada en el citado capítulo 8. Si no hay razón para sospechar que la culpa del defecto sea de la regulación de las palancas y sus correspondientes topes, tendremos que empezar a pensar en otras posibles causas. Por ejemplo: Es fácil que una purga hecha a medias sea la causante de estos fallos de encendido y la primera causa será también esta vez la presencia de aire en el circuito, y la solución, por supuesto, el cebado y purga del sistema. Ya es más difícil que el origen de este defecto se encuentre en las paletas de la bomba, pero por si fuese así, será bueno comprobarlo. Si la alimentación es correcta, quedan por mirar los muelles del ralentí y las palancas del regulador mecánico. En este aspecto debe observarse que las palancas de accionamiento no se encuentren obstaculizadas. En los reguladores de depresión, la posible entrada de aire en la cámara de vacío puede ocasionar la dificultad del buen funcionamiento del ralentí, y solamente en muy pocos casos se le puede dar la culpa de este defecto a los inyectores.

B. Funcionamiento defectuoso del motor

El presente síntoma tiene en su enunciado un alcance un poco vago pero queremos englobar en él las dos partes principales que señalamos con 1 y 2 a continuación y todas las subpartes que quedan expresadas en este programa previo que vamos a desarrollar. En realidad se trata de concentrar aquí todos aquellos defectos que pueden ocasionar una falta de potencia general del motor y algunas condiciones especiales que hacen que el motor tenga un funcionamiento posible pero defectuoso.

Las partes en que dividimos este síntoma general será:

1. No se consiguen alcanzar las características máximas de par, potencia o régimen.
   a) Falta de aceleración o par
   b) No se alcanza el régimen máximo

2. Funcionamiento irregular
   a) Al alcanzar las prestaciones máximas el motor se para
   b) Se mezclan agua y aceite
   c) Temperaturas excesivas (agua, aceite, escape)
   d) Presión de aceite baja
   e) Marcha desacompasada del motor.

A continuación vamos a desarrollar estos conceptos y a ver las causas que pueden producir los síntomas que hemos enunciado.

1. No se consiguen alcanzar las características máximas de par, potencia o régimen

De los dos casos en que hemos dividido este síntoma vamos a empezar por el primero.

a) Falta de aceleración o par

Este síntoma se nota principalmente cuando, al pedir o necesitar un cambio de carga, el motor no responde con la viveza y la rapidez acostumbrada. Como que casi todas las averías se traducen a fin de cuentas en pérdidas de capacidad o en funcionamiento irregular, convendrá que el mecánico pueda añadir a este síntoma algún otro indicio que le conduzca hacia un punto de análisis más concreto.

Por ejemplo: si el defecto aparece muy bruscamente, lo primero será pensar en la bomba de alimentación de combustible y sobre todo en su membrana o sus válvulas. También puede aparacer bruscamente cuando el regulador está trabado o atascado, agarrotado o con el recorrido limitado por alguna causa.

Por el contrario, puede ir apareciendo este síntoma de una manera casi imperceptible con el tiempo, y en ese caso su origen puede ser el taponamiento lento pero progresivo de alguna tubería, ya sea de alimentación de combustible, ya sea en la admisión del aire, y sobre todo el filtro, ya sea en el escape. También suele ser muy lenta y progresiva la pérdida de características de aceleración que produce la pérdida de compresión por el desgaste paulatino de los cilindros, o perdiendo fuerza o engomándose los aros.

Algo más rápidamente se presenta la obstrucción del filtro de combustible, si no se cambia a tiempo la guarnición o cartucho; o fallos por desgaste de los elementos de la bomba de inyección, o mal estado de los inyectores.

Más adelante veremos que los humos son también un indicador eficaz. Si se presentan humos oscuros (de estos síntomas nos ocuparemos con profundidad más adelante) y suben las temperaturas cada vez que se pide más par, es muy probable que el filtro de aire de admisión provoque ya una excesiva caída de presión. La obstrucción del tubo de escape suele ir acompañada de humos oscuros.

Si el efecto aparece después de una revisión será posible pensar que algo ha fallado durante la misma y muy probablemente el calado de la bomba de inyección no ha sido del todo correcto, o la culpa es del ajuste del avance.

Si el síntoma va acompañado de un silbido conviene pensar si proviene de la junta de culata, o de fugas en los asientos de válvulas. Un fuerte martilleo nos ha de llevar a comprobar la holgura de taqués. En realidad se trata de defectos de puesta a punto en el motor que se ha de comprobar con toda atención. Ello puede muy bien ser la causa principal de este síntoma que ahora comentamos.

b) No se alcanza el régimen máximo

Este síntoma suele estar relacionado con el que acabamos de describir en el anterior párrafo y por lo tanto pueden repetirse aquí las mismas causas que acabamos de dar. Sin embargo, hay algunos pocos casos específicos en los que el motor puede no alcanzar su régimen máximo por un fallo de mecanismos que le afecten en este sentido, tales como el muelle del regulador mal ajustado, el tope de régimen incorrecto o, incluso, los mandos de accionamiento mal conectados. También una sobrecarga del motor puede frenarlo por un exceso de temperatura alcanzada o bien por una sobrecarga exterior.

Tanto en el caso de la falta de aceleración o par como en el caso presente de no alcanzar el régimen máximo, la consecuencia final es que el motor no puede llegar a alcanzar su potencia máxima. Cuando éste es el síntoma puede estar provocado por todas las causas que hemos descrito anteriormente y además por todos los defectos derivados de una mala alimentación de combustible, mala llegada del aire o escape obstruido y todos los defectos que pueda ocasionar una compresión defectuosa, aunque todas estas causas en presencia mucho más moderada que la que se expuso en el apartado de *dificultades en el arranque*.

2. Funcionamiento irregular

Hemos visto que existen cinco puntos sobre los que tenemos que investigar según las condiciones cómo se presenten estos síntomas. Pasemos a ello siguiendo el orden establecido.

a) Al alcanzar las prestaciones máximas el motor se para

Cuando se trata de motores Diesel rápidos, provistos de precámara de combustión, es probable que el inserto que forma parte de la cámara se haya deformado o requemado, o que su comunicación con la cámara de compresión no sea limpia y despejada. En todos estos casos el rendimiento, al ir aumentando el dosado, es muy bajo y el motor ya no aguanta la carga y se cala. La solución ha de encontrarse en reponer las antecámaras.

Otras veces puede ocurrir que uno o varios cilindros no trabajen por haber quedado sin retorno algún elemento de la bomba o por haberse agrietado algún tubo de impulsión, o por haber entrado aire en el circuito.

Existen también otras posibilidades que aunque son muy poco probables por el elemento casual que comportan será sin embargo conveniente tener en

cuenta. Por ejemplo: Un estado de obstrucción de los orificios de inyección en los inyectores de orificios o una presión de compresión que no sea capaz de mantener determinados niveles altos, es decir, que se produzcan fugas a un determinado nivel de presión, etcétera.

b) Se mezclan agua y aceite

La posibilidad de producirse un paso del agua al aceite o viceversa resulta de una relativa frecuencia en los motores Diesel debido a las grandes presiones a que se trabaja en estos motores, a diferencia de las presiones más reducidas de los motores de gasolina. Consiste en un funcionamiento irregular que hay que tener en cuenta.

Como es sabido, la presión de alimentación de aceite es superior a la de circulación del agua, en el momento de la salida de ambos líquidos de sus bombas respectivas; pero ocurre lo contrario al final del circuito, como, por ejemplo, a la altura de culatas y balancines. Esto ya nos puede dar una idea clara de cuándo pasa agua al aceite (hacia el final del recorrido del circuito) y cuándo es el aceite el que pasa al agua. Puntos dudosos pueden ser las grietas en paredes de separación agua-aceite del bloque. Sea como sea es un síntoma grave que debe resolverse cuanto antes.

El punto más clásico y frecuente es la junta de culata que puede llegar a romperse y a establecer un pasaje entre conductos de diferentes líquidos. También el diseño de los motores tiene a veces la culpa de averías de este tipo. A este respecto, en algunos motores, las fijaciones de los ejes de balancines u otros elementos en las culatas, atraviesan la pared y no son estancos pudiendo dar lugar al paso de agua-aceite. Aunque no sea muy frecuente, pueden producirse fisuras en las paredes del bloque o de la culata que pongan en comunicación cámaras vecinas por las que circulan estos fluidos. También se pueden dar casos de que se creen poros en las camisas húmedas.

Cuando, al verificar el nivel del aceite, se observa que éste ha subido se ha de comprobar en seguida si se trata de que el agua haya podido pasar al aceite. De igual modo el exceso de volumen de agua, y mucho más la presencia de lunas de aceite en ella, son indicios que deben tenerse muy en cuenta para proceder de inmediato a desmontar el motor para limpiarlo a fondo y resolver los desperfectos que se hayan producido. De otro modo la ruina del motor se hace inevitable.

c) Temperaturas excesivas (agua, aceite, escape)

Aquí vamos a ver por partes cada uno de estos síntomas comenzando por la observación de una *temperatura excesiva o anormal del agua* de refrigeración. Este síntoma, como es de suponer, nos encamina desde el primer momento al circuito de refrigeración y a cada una de las partes que lo componen. Lo primero que hay que pensar es en el estado de llenado del circuito: se repondrá el nivel del líquido refrigerante si es que realmente falta. De todos modos se tendrán que prolongar las investigaciones en el sentido de averiguar

si esta falta de nivel es esporádica o bien se reproduce con regular periodicidad. Suelen haber dos causas bastante clásicas: una de ellas es la pérdida de agua a través de comunicaciones con el circuito de aceite que hemos descrito en el anterior párrafo, y otra, de parecida naturaleza, puede estar ocasionada por el mismo hecho de que la junta de la culata se halle agrietada pero no ponga en contacto los conductos de aceite y agua sino solamente la cámara de compresión con el circuito de agua. Cuando se adquieren las máximas presiones de combustión una cierta cantidad de gases puede escapar al agua y la hace hervir reduciendo su nivel.

Si el motor suele mantenerse por encima de sus valores de temperatura normales y el nivel del líquido no suele tener variaciones significativas es muy posible que el culpable sea el termostato, el cual puede abrir el circuito tarde o mal. A esto habría que añadir todos los defectos típicos una mala función de un circuito de refrigeración que podría aplicarse también a un motor de gasolina. Por ejemplo, el mal estado del radiador. Las incrustaciones calcáreas que se hayan podido adosar a las paredes de los tubos dificultan la salida del calor y el paso del líquido, por lo que el proceso de enfriamiento se produce más lentamente y la temperatura de funcionamiento aumenta. También la comprobación de la bomba de agua y de la tensión de las correas que la accionan (en el caso de que lleve este sistema) pueden dar pistas de esta lentitud en la acción de refrigerado.

Al margen de lo dicho anteriormente hay dos defectos que pueden ser delatados por trabajar en caliente y que no tienen nada que ver con el circuito de refrigeración: que el comienzo de la inyección se haya ido retrasando de modo que la combustión no se produzca en el punto conveniente (se delata también por la falta de potencia) y que el motor trabaje «duro» porque los émbolos se hayan dilatado demasiado y estén en trance de agarrotarse o más o menos próximos a ello. Se produce aquí un aumento de la temperatura que a su vez aumenta la dilatación y el riesgo de gripado.

A continuación pasemos a otros aspectos de este síntoma que estamos comentando. Nos referimos a la *temperatura excesiva del aceite*. Este es un síntoma al que no se le suele prestar demasiada atención entre otras cosas porque en la mayoría de los casos no se dispone de indicador que controle este valor. Una temperatura excesivamente alta hace que el aceite se vuelva más fluido, que baje su presión de salida de la bomba y en definitiva que el engrase sea deficiente. Si la refrigeración de agua del motor es mala y el motor suele trabajar por encima de su temperatura ideal de funcionamiento, ésta puede ser la causa del aumento de la temperatura del aceite. Si no es así, comprobar que el grado SAE del aceite sea el requerido para el motor en concreto.

En cuanto a la *temperatura excesiva en el escape* puede ser debida a defectos que están comprendidos en el apartado de «falta de aceleración o par» que comentamos en otro lugar. A él remitimos al lector.

d) Presión de aceite baja

Una baja anormal del valor de la presión de aceite de una manera continuada puede estar ocasionada por varias causas. En primer lugar por un mal funcionamiento de la bomba de engrase (siempre en el supuesto de que el nivel del aceite en el cárter sea el correcto). Suciedad en el filtro de toma de aceite en el interior del cárter o mala regulación de la válvula de la bomba de aceite, todo ello de igual manera que pueda ocurrir en un motor de gasolina.

En segundo lugar, la pérdida de presión puede estar ocasionada también por la excesiva temperatura del aceite en virtud de las razones que hemos dado en el anterior apartado o también por la utilización de un aceite de un grado SAE excesivamente fluido para el motor en concreto con el que se trabaja.

Otra causa de la baja en la presión del aceite, y ésta bastante grave, es el estado de desgaste de los cojinetes del cigüeñal. Si el juego entre ellos es excesivo el aceite pierde presión y ello se delata en todo el circuito. Hay que proceder a la reconstrucción del motor.

En este tipo de síntoma no hay que olvidar la posibilidad de que el manómetro indicador no funcione correctamente y proporcione unas indicaciones falsas. Conviene aplicar a la salida del filtro un buen manómetro para hacer la comprobación real de la presión conseguida.

e) Marcha desacompasada del motor

Cuando la marcha del motor resulta desacompasada, pero el ruido es normal, la causa más probable es la de que algún inyector esté fallando. Puede haber aire en su sistema de combustible o también agua en la bomba de alimentación y también puede ocurrir que exista algún desajuste en el regulador. Otra causa que podría dar este síntoma sería el haber aplicado un tubo de impulsión inadecuado entre bomba e inyector, aunque esta avería solamente podría esperarse, como es lógico, después de una reparación mal hecha.

Con esto damos por terminada esta serie de causas que se deducen del síntoma general de «funcionamiento defectuoso del motor». Pasemos a la consideración de otra familia de síntomas anormales.

C. Ruidos anormales del motor

Como en todos los casos, también en los motores Diesel el mecánico debe hallarse habituado a los sonidos que el motor emite para detectar con facilidad aquellos que puedan resultar anormales y que sirvan de base a la posibilidad de una anomalía de funcionamiento o a una avería próxima. Además de reconocer si un ruido es anómalo o normal, conviene fijarse en algunas otras particularidades. La más importante es, por ejemplo, su ritmo. Hay que hacerse esta pregunta: ¿Se oye con el mismo ritmo que el giro del motor o a otro independiente? Si es el mismo, ¿se oye a cada vuelta, cada dos vueltas, con cada combustión, o a doble ritmo que el de las combustiones?

Por supuesto, también es de suma importancia saber localizar de dónde proviene el sonido, si lo hace del ventilador, del escape, de unas cadenas de

distribución, de la zona de las válvulas, etcétera. Y finalmente, el tipo de sonido también es importante para conocer la causa. Como que el sonido de este tipo no puede escribirse digamos que los mecánicos conocen que existe el *silbido*, que generalmente está ocasionado por fugas o por órganos que giran a una muy grande velocidad como el rodete del turbo; existen los *chacoloteos*, que es el sonido propio de las cadenas y también los *castañeteos* que son propios de los engranajes que vibran.

De acuerdo con todo ello veamos si podemos definir con palabras los ruidos anormales que un motor puede producir como síntoma, y de ello deducir su causa o avería posible. Para ello vamos a dividir el estudio en las siguientes partes:

a) Golpeteo en fase con la combustión de un cilindro
b) Golpeteo de un cilindro a cada vuelta
c) Golpeteo con el ritmo de las combustiones
d) Ruidos sincronizados con las emboladas
e) Ruidos en otros elementos.

a) Golpeteos en fase con la combustión de un cilindro

Lo más probable es que haya un cilindro que no trabaje en las condiciones debidas y especialmente por causa de que su inyector esté mal, tarado o averiado. También el hecho de que alguna de las válvulas esté agarrotada o con un muelle roto puede causar un síntoma semejante. Otras causas pueden encontrarse dentro de las siguientes: El cilindro que golpetea lo hace porque está sobrecargado por dar excesivo dosado su elemento de la bomba de inyección

Si el ruido es un silbido en la junta de culata puede ser que se haya iniciado en ella una grieta que deje escapar la combustión pero no, todavía, la presión de la compresión. También puede proceder de un asiento de válvula agrietado o fugas alrededor del portainyector o de la bujía de precalentamiento.

b) Golpeteo de un cilindro a cada vuelta

Cuando se puede distinguir que es uno solo el cilindro que en el funcionamiento del motor produce un sonido oscuro a cada vuelta, que parece provenir del interior del cilindro, este síntoma puede anunciar un próximo estado de agarrotamiento y posterior bloqueo del motor por gripado. A medida que se acerca este momento crecerá el ruido, el motor irá perdiendo velocidad a igualdad de carga y la temperatura del líquido refrigerante irá subiendo. Cuando se presenta este síntoma es conveniente sacar toda carga del motor y dejarlo girar solamente a ralentí para que el cilindro afectado se enfríe (cosa que hace más rápidamente así que parado). Esta situación puede mantenerse durante unos 15 minutos solamente. Luego será conveniente desmontar el motor y comprobar los daños ocasionados.

Un golpe mucho más seco y metálico que provenga de la cámara y que no vaya acompañado de calentamiento ni pérdida de velocidad es el que a veces puede dar un émbolo al tropezar con una válvula o con la pared de la culata, al llegar al PMS, por poco espacio muerto necesario. Si se produce conviene comprobar que no hayan habido daños del tipo de válvulas rotas, culata agrietada, etcétera. De todos modos, salvo que por ausencia del filtro de aire no haya entrado en el cilindro algún trozo de material metálico, los daños no suelen ser muy graves si se desmonta a tiempo.

c) Golpeteo con el ritmo de las combustiones

El más típico de los ruidos Diesel es el particular «picado» que se produce en estos motores durante la combustión. Si resulta exagerado demuestra que la velocidad de combustión es excesiva y es casi seguro que la bomba inyecta antes de tiempo. Ya es más difícil que se trate de otro mal reglaje, como por ejemplo una presión de apertura baja de los inyectores, y aún lo es mucho más que el combustible esté alterado y no sea adecuado.

Si la procedencia del ruido es exterior es muy fácil que esté provocado por la excesiva holgura de válvulas, al igual que ocurre con los motores de gasolina, y si, por el contrario, el ruido resulta mucho más sordo, puede proceder de la mala condición del conjunto de los aros que se hallen desgastados o pegados. También producen ruidos las superficies de taqués, levas, rodillos o empujadores que presentan roces, realces o deformaciones.

Un ruido a base de repiqueteos puede estar provocado por los muelles de válvula que se hallen flojos, cedidos o rotos. También cuando los motores son de antecámara pueden producir un ruido particular cuando ésta está requemada, deformada, rota o desplazada.

d) Ruidos sincronizados con las emboladas

Un ruido de estas características sincronizado con las emboladas denota generalmente la necesidad de una revisión general del motor que ha ido adquiriendo demasiado ruido de juego de cojinetes y otros puntos móviles. Suele ser síntoma de vejez del motor y solamente se puede solucionar con una revisión y reestructuración general del motor. El desgaste de cilindros hace crecer el golpeteo; el desgaste y holgura excesiva de cojinetes produce martilleo, hace peligrar la efectividad del engrase y decae la presión del mismo. Algunas veces el aro superior choca contra el escalón que se ha ido formando en la parte alta de la camisa, y otras veces se aflojan los tornillos del tren alternativo, todo lo cual resulta muy peligroso para la integridad del motor.

El estado de los cojinetes cuando el motor lleva muchas horas de servicio tiene que ser forzosamente malo, pero conviene comprobar que no sea provocado, además, por otras causas tales como una baja presión de aceite, aire en la aspiración en la bomba de aceite, agua en el aceite de engrase, suciedad en los conductos o cojinetes mal montados.

e) Ruidos en otros elementos

Todos los demás órganos que giran dentro de un motor pueden ser causantes en mayor o menor medida de ruidos a veces muy particulares, a veces muy localizados en el lugar donde se encuentran ubicados y a veces más difíciles de identificar. Vamos a ver por separado los ruidos que suelen hacer diversos órganos del motor y la avería que pueden dar a entender con ello.

Cadena. El chacoloteo de una cadena de transmisión es un ruido generalmente fácil de identificar por su sonido característico. Puede estar ocasionado por un alargamiento excesivo, atascamiento, flojedad del tensor o a mal estado de los rieles. En los motores de los automóviles que llevan este sistema puede notarse a veces este ruido al tomar ciertas curvas. Se trata de una inacción momentánea del tensor que no tiene mayor importancia. Si la cadena está demasiado estirada, además de ajustar mal sobre los dientes de los piñones corre el riesgo de saltar algún diente con lo que el motor se queda automáticamente fuera de tiempo.

Ventilador. La mayoría de los ventiladores suelen ser muy ruidosos, especialmente a velocidades altas, pero ello no es en sí una avería, ni mucho menos. Cuando el ruido denota un fallo deja de ser un ruido continuo con nota dominante para sobreponérsele un campaneo o roce metálico. Entonces hay que ver qué ocurre.

Silenciador. Es evidente que el escape es una de las partes más ruidosas de un automóvil. Por ello disponen de silenciadores que amortiguan el sonido de los gases a la salida de la cámara de combustión. Este sonido es normal, pero cuando el ruido denota un fallo deja de ser un ruido continuo para sobreponérsele un ruido petardeante provocado por fugas en los conductos o en el silencioso debido a perforaciones de la plancha.

Bomba de agua. Toda bomba tiene su ruido característico que indica que gira con toda regularidad. Si se deteriora una aleta, o roza el rotor o no cierra alguna de sus válvulas, etcétera, el ruido cambia claramente y nos indica que algo no funciona correctamente. Pueden haber problemas de estanqueidad o chirridos por falta de engrase de los cojinetes, etcétera. Habrá que revisarla con atención.

Cigüeñal. Un excesivo juego axial en el cigüeñal puede dar lugar a ruidos acompañados de pérdidas de aceite. Es un defecto no siempre fácil de localizar exteriormente, pero con el que se debe contar cuando se aprecian ruidos anormales por la parte baja.

D. Consumo excesivo

En un automóvil resulta difícil tener un concepto perfectamente claro del consumo de combustible, por ejemplo, a menos que el usuario se limite no solamente a hacer siempre el mismo recorrido, sino a hacerlo siempre en las mismas condiciones de tráfico. A menos que el consumo empiece ya a ser muy disparatado es un término que se halla sujeto a la subjetividad del que conduce el vehículo que únicamente se limita a pagar el exceso de combustible en la gasolinera pero no a analizar las condiciones del tráfico, las paradas, etcétera, a que se ve forzado de una manera diferente en uno u otro recorrido. El síntoma de un consumo excesivo, pues, debe ir siempre acompañado por algún otro síntoma secundario que nos puede dar la pista segura.

Vamos a dividir este estudio de averías considerando los dos siguientes casos de consumo excesivo:

a) Consumo excesivo de combustible
b) Consumo excesivo de aceite.

a) Consumo excesivo de combustible

El motor Diesel tiene unas ventajas de diagnóstico excelentes cuando se observa el humo de escape. De ello nos ocuparemos en el próximo apartado; pero lo decimos así porque cuando hay un consumo excesivo de combustible hemos de entender que se trata de un despilfarro de gasóleo, lo que inmediatamente nos será avisado por medio de los humos negros del escape. Si el humeo del escape es correcto en todos los estados de carga podemos afirmar que el motor no consume despilfarrando. No obstante será necesario hacer algunas comprobaciones. Puede ocurrir que falle un cilindro, de modo que los demás tengan que hacerse cargo de su trabajo sobrecargándose. Esto ya sabemos que hace un ruido particular y además hay humos negros en el escape como consecuencia de una combustión no realizada en un cilindro. El fallo más corriente, en este caso, es de inyector, pero también el accionamiento de la bomba puede ser el causante, y alguna que otra vez se trata de alguna fuga de la presión de una cámara de combustión a través de una grieta en la junta de culata.

Si no existe un cilindro que falle sino que todo el motor gira «redondo» y acompasado pero hay humos negros, tendremos que buscar en el filtro de aire de admisión. Si está sucio y hay falta de aire en la combustión es como si hubiera un exceso de combustible a cada embolada y se derrocha combustible que no cede su poder calorífico. También si el filtro no es el adecuado y ofrece al aire más resistencia de la calculada para este motor en concreto, aunque no esté sucio, puede provocar los mismos efectos.

Otros defectos son: Una bomba de inyección fuera de sincronismo y/o con defectos de ajuste y reglaje internos; las válvulas en muy malas condiciones o con los reglajes muy desajustados y, en general, toda una serie de anomalías mecánicas que suelen ir acompañadas por síntomas de falta de potencia, tales como los aros en mal estado, el motor desgastado por ovalización, etcétera, aunque en estos casos la subida de aceite desde el cárter se uniría a los humos de escape y daría una coloración de humos azulado-parduzcos malolientes y grasientos.

b) Consumo excesivo de aceite

Por medio de los kilómetros recorridos y el volumen que hay entre cada reposición de aceite del cárter, el usuario puede tener esta vez una manera muy verídica que comprobar hasta qué punto el motor consume demasiado aceite en comparación con el que consumía con anterioridad. Por lo tanto, cuando afirma que el motor tiene un consumo excesivo de aceite, o por lo menos que éste ha aumentado, será cuestión de tomárselo con atención.

El aceite se puede consumir de una manera excesiva, de dos maneras: Una, que consiste en que logre llegar a la cámara de combustión y sea allí quemado saliendo por el escape del modo que hemos visto en el apartado anterior, dejando, por otra parte, residuos de su presencia en válvulas, asientos y aros con depósitos de carbonilla. Otra, si trabaja muy caliente y su tensión de vapor hace que el separador o respiradero del bloque motor no tenga capacidad suficiente. También puede pasar que este separador esté sucio o taponado.

Lo primero que hay que hacer es comprobar si hay fugas que puedan producir pérdidas de aceite. Si el aceite penetra en la cámara de combustión por el excesivo juego en las guías de válvulas o en sus cierres, hay que proceder a la revisión del estado de los retenes. También si existe sobrepresión en el bloque a causa del respiradero, o si puede ser que el aceite suba a la cámara por el mal estado de los aros o por estar desgastados los cilindros ya es sabida la situación de reconstrucción de motor que esto último presenta.

E. Análisis de humos

Por medio de la observación de los humos que salen por el escape podemos tener una orientación bastante segura de lo que ocurre en el interior de la cámara de combustión y ello puede proporcionarnos una visión de una gran gama de averías posibles. Sin embargo, hay que aprender a saber leer en este código de los humos pues los ojos han de poder apreciar con seguridad pequeños matices de color que solamente la práctica puede determinar.

Como que se trata de una serie de síntomas fáciles de observar y de gran utilidad a la hora de buscar averías vamos a extendernos un poco en la descripción de cómo debe ser el color y la forma de interpretarlo. Para ello vamos a dividir este apartado en las siguientes partes relativas a colores básicos que pueden adoptar los humos:

a) Humos blancos
b) Humos azulados
c) Humos negros

En cada uno de los apartados relativos a cada uno de estos colores hablaremos también de los matices que pueden tener estos humos tendentes a otros colores.

a) Humos blancos

El humo blanco por el escape, al igual que ocurre en los motores de explosión, es síntoma de entrada de vapor de agua en el circuito de la combustión. Esta entrada de vapor de agua puede no tener ninguna importancia en determinados casos. Por ejemplo, en el momento del arranque en frío: con el primer calor desarrollado por el motor la humedad de los cilindros y de los tubos de escape se condensa y se evapora produciendo una salida de humo blanco durante el tiempo necesario para que el motor se caliente y se consuma todo el vapor de agua que pueda haber en los conductos citados.

Semejante caso también puede producirse cuando, también en el momento del arranque, el aire ambiente está muy cargado de humedad y se produce un proceso semejante al explicado anteriormente mientras el motor está frío. Pero, como vemos, el humo blanco ha de considerarse normal en el momento del arranque y unos pocos minutos después. Deja de ser normal cuando persiste o cuando se produce estando ya el motor caliente.

A temperatura normal el humo blanco indica una falta de estanqueidad en el circuito de refrigeración, de modo que hay que comprobar el estado de la junta de culata para que ésta no se haya roto y ponga en comunicación los orificios del paso del agua con la cámara de combustión. Además de la junta no se tendrá que desechar la posibilidad de grietas en la misma culata que a veces pueden ser insignificantes a la vista pero causan el traspaso de agua que citamos.

El humo blanco también puede estar ocasionado por causas especiales como ocurre en los motores sobrealimentados que utilizan *turbo*. Un exceso de combustible en los momentos de aumento brusco de par, cuando todavía falta aire en el colector de admisión provoca una emisión súbita de humo blanco producido por combustible vaporizado y no quemado que cesa inmediatamente que el *turbo* alcanza su velocidad adecuada para el par que se le solicita. Esta emisión de humo blanco no es una avería aunque no suele producirse en los motores que van dotados de válvula automática.

Un determinado punto de exceso de avance de inyección o un regulador que tenga reducida su capacidad de reacción por roces o resistencias de sus palancas pueden también ocasionar este defecto.

b) Humos azulados

Los humos azulados tienen la característica fundamental de ser debidos a la presencia de aceite en la combustión. Esta coloración puede sin embargo ser a veces normal en determinadas circunstancias, como cuando el motor está girando durante mucho tiempo al ralentí, pero debe desaparecer inmediatamente durante la marcha normal. Si no ocurre así y, por el contrario, el humo azul aumenta durante la marcha es muy fácil que se trate de un consumo de aceite por parte del motor debido a su mal estado de ajuste, ya sea por aros rotos, ovalización en el cilindro, guías de válvula desgastadas o pérdida de sus retenes, etcétera.

A veces el consumo de aceite puede ser momentáneo debido, por ejemplo, a un filtro de aire en baño de aceite en el que haya una cantidad de aceite que esté por encima del nivel máximo. En este caso, la aspiración del motor puede llevar vapores de aceite a la cámara, situación que durará hasta que el nivel máximo se restablezca. De igual modo puede ocurrir cuando el nivel del aceite en el cárter sobrepasa también el nivel máximo aconsejado o cuando, debido a un exceso de temperatura de funcionamiento, el aceite se calienta excesivamente y produce un grado excesivo de fluidez. En todos estos casos el síntoma de humo azul en el escape viene acompañado de exceso de consumo tanto más importante cuanto mayor sea la coloración azulada del escape. Existe, pues, relación entre una y otra cosa.

En esta clase de humos hay que distinguir las siguientes situaciones:

1. Humos azules producidos especialmente durante la aceleración partiendo de la marcha en vacío que, sin embargo, tienden a desaparecer cuando el motor adquiere un régimen normal. Este síntoma suele corresponder a que pase aceite del motor a la cámara de combustión por el intermedio de las guías de válvula de admisión. El consumo de aceite puede no ser importante. En los motores equipados con regulador neumático este defecto puede agravarse debido a la depresión del colector de admisión. Hay que desmontar la culata y revisar el estado de los retenes de las válvulas.

2. Humos azules tanto en frío como en caliente y a cualquier velocidad del motor. Este síntoma se debe interpretar como paso del aceite a la cámara de combustión a través de los aros o entre el émbolo y el cilindro. Puede ser debido a ovalización o mal estado de aros, y también a excesiva temperatura de aceite o uso de un aceite no recomendado.

3. Humos azules durante la velocidad máxima, a plena carga o a carga reducida. En los motores que van provistos de filtro de aire en baño de aceite resulta excesivo el nivel del mismo.

4. Humos azules-claro a velocidades altas pero con carga reducida acompañadas generalmente de un olor acre y frecuentes al bajar pendientes. El motor trabaja excesivamente frío. Hay que comprobar que el termostato trabaje en buenas condiciones; que no se halle completamente abierto cuando el motor no ha adquirido todavía su temperatura de funcionamiento.

5. Humos azules tirando a blancuzcos producidos en frío, especialmente a poca carga y persistentes en caliente con golpeteos de vez en cuando. Este síntoma indica defectos en los inyectores, generalmente porque se hallan blocados en la aguja del inyector o por obturación de orificios de pulverización en los inyectores de este tipo. Desmontar los inyectores y verificar su estado.

6. Humos azules tirando a blancuzcos producidos a velocidades altas y a poca carga, pero especialmente en frío. Estos humos pasan a ser negros cuando el motor se calienta y va a plena carga acompañados de pérdida de potencia a altas velocidades. Efecto bastante claro de retraso en la inyección, o bien que el dispositivo de avance no funciona, o lo hace mal.

c) Humos negros

Del mismo modo que los humos blancos son propios del agua y los azules son básicamente del aceite, los humos negros indican siempre una combustión que se desarrolla de una manera defectuosa ya sea por el exceso de combustible con relación al aire aspirado, o por falta de éste por determinadas dificultades de aspiración.

En este tipo de emisión de humos hay que considerar también los diversos matices del gris (aunque generalmente siempre gris más o menos oscuro) como mayor o menor avance de la avería a que se refiere el síntoma observado. Veamos a continuación las características de color y la forma de producirse para conocer una orientación sobre la posible avería.

1. Humos negros a plena carga y especialmente a velocidades altas y bajas pero manteniendo siempre una potencia normal. Este síntoma es claro para dar a entender que el caudal de la bomba de inyección es demasiado grande con relación al aire aspirado. Hay que desmontar la bomba y pasar a su verificación por medio de un taller que disponga de los aparatos de comprobación que se explicaron en su capítulo correspondiente. En general hay que acudir a reducir el caudal de la bomba a régimen máximo. Comprobar que el dispositivo de arranque funcione bien y vuelva a su posición inicial cuando el motor ya ha arrancado y el mando vuelve a su posición de reposo.

2. Humos negros a plena carga y especialmente a velocidades altas y bajas pero con la particularidad de que el motor se vuelve más silencioso de lo normal. Este síntoma se suele dar cuando se trata de que la inyección está retrasada o bien cuando el dispositivo de avance trabaja mal. Comprobarlo. Bastan dos grados de error para que se produzca este defecto.

3. Humos negros a plena carga y especialmente a velocidades altas y bajas pero con la particularidad de que el motor se vuelve más ruidoso de lo normal. El mismo caso que el anterior pero al revés. También la interpretación de este síntoma será al revés: se trata de un excesivo avance en la inyección. Poner a punto la bomba.

4. Humos negros solamente a gran velocidad y a plena carga. Falta de aire solamente en las altas velocidades y plena carga: generalmente debido a demasiada suciedad en el filtro de admisión de aire. Ver si está estropeado u obstruído.

5. Humos negros a plena carga y en especial a velocidades altas y medias con pérdidas de potencia en la mayoría de los casos. Este síntoma puede interpretarse como defectos en los inyectores. Ver si los orificios de pulverización están parcialmente obstruídos. Los humos aumentan si se procura aumentar la potencia dando más caudal a la bomba de inyección.

6. Humos negros a plena carga y a gran velocidad. El motor gira más deprisa de lo normal en el momento en que está controlado por el regulador. Se trata de un problema de regulador el cual trabaja por encima del máximo correcto. Hay que reducir su velocidad de giro por medio de los procedimientos propios de cada tipo de regulador (mecánico, hidráulico, neumático).

7. Humos negros en la mayoría de las velocidades tendiendo a azul o blanco en el momento del arranque o en frío. Este síntoma podría estar ocasionado por una mala colocación de los portainyectores. Podría darse el caso, por ejemplo, de que el portainyector estuviera montado sobre varias arandelas sobre la culata cuando muchas veces no son necesarias; pero de cualquier modo la posición de estas arandelas puede cambiar la posición relativa del inyector y éste puede lanzar su dardo sobre zonas diferentes de las correctas. Hay que revisar el montaje de acuerdo con lo especificado por el fabricante.

8. Humos negros a cargas y velocidades elevadas, pero no precisamente a las altas. Este síntoma puede interpretarse como un funcionamiento irregular del inyector y en especial del alzado de su aguja que puede ser demasiado grande, ya sea por su mal montaje o por su ajuste incorrecto. Debe ser corregido con la ayuda de los aparatos necesarios de comprobación.

9. Humos negros a cualquier velocidad y con cargas altas pero especialmente a velocidades medias y bajas. Además el arranque suele ser difícil. Esto puede interpretarse como mal estado general del motor que se confirma de una manera muy clara si además hay humos azulados debidos al quemado de aceite. Puede ser falta de compresión con toda la serie de averías que esto puede tener y que afectan a aros, cilindro, válvulas, émbolos, etcétera.

10. Humos negros a plena carga y especialmente a velocidades medias y altas acompañados de falta de potencia. Este síntoma puede ser debido a que los tubos de impulsión que llevan el gasóleo de la bomba hasta los inyectores tengan un diámetro interior insuficiente. También si estos tubos se hallan mal instalados adoptando formas muy curvadas y con codos agudos pueden ser culpables de este síntoma. Asegurarse de que son tubos de impulsión que el fabricante ha diseñado para el motor y ver que no se hayan sustituido alguno de ellos por otro inadecuado.

Con esto damos por terminado este análisis de los humos de escape. Cabe decir, para finalizar, que el motor Diesel pese a su fama de motor humeante no tiene porqué hacer humos visibles si su puesta a punto es correcta a cualquiera de los regímenes de giro a que sea sometido. Es más: en los motores de automóvil no puede decirse que están a punto si no se consigue eliminar por completo su efecto humeante excepto en los momentos del arranque en frío o algunas solicitaciones bruscas en los motores turboalimentados.

Pasemos a ver por último, la parte final de este bosquejo general.

F. Vibraciones

Todos los órganos que giran pueden tener o provocar vibraciones, y de hecho las provocan en todos los motores. Por supuesto que en el presente análisis tomamos la vibración en el sentido de su anormalidad, es decir, vamos a considerar aquellas vibraciones que se producen cuando ya se conocen las normales del motor y aparecen otras que perturban el funcionamiento o elevan el nivel de ruido más allá de lo normal.

Una de las primeras causas que pueden ocasionar las vibraciones anormales puede ser la falta de anclaje de las piezas mecánicas básicas sobre las que giran piezas móviles. En estos casos aparecerá siempre una cierta vibración o sacudida rítmica. Se tendrá que averiguar la pieza que vibra y proceder a fijar sus soportes para evitar males mayores más adelante. En muchas ocasiones los elementos que giran a gran velocidad pueden ser causantes de problemas que se exteriorizan por señales de esta índole. A este respecto los ventiladores y las bombas turboalimentadoras pueden dar prematuros avisos de su estado de falta de fijación. Los primeros van siempre acompañados de ruido (que ya analizamos en el apartado dedicado a los ruidos) y hay que atenderlos pronto para evitar así males mayores. En cuanto a las bombas pueden dar claras señales de vibraciones de dos distintas clases: Si entran en zona de bombeo es todo el motor el que responde a ese bombeo, pero si es un desequilibrio interior causado por suciedad o desgaste es solamente la turbina la que responde. Alguna vez el desequilibrio interior ha sido provocado por un elemento metálico que se coló en el circuito, o cayó de la misma protección de entrada. Otras veces la falta de engrase puede también provocar principios de agarrotamiento que se anuncian por ruidos y vibraciones. Estas situaciones pueden darse especialmente con las bombas de agua del circuito de refrigeración.

En la mayoría de los casos la vibración va acompañada de ruidos. Ya hemos hablado del chacoloteo de las cadenas destensadas que hacen vibrar, a su vez, al motor durante el periodo de su giro. También se ha hablado del quemado o deformado de la base de las precámaras de combustión de los motores rápidos que suele ir acompañada de trepidaciones del motor y ruidos sordos.

En cuanto a los turbocompresores, si producen vibraciones, se tendrá que comprobar el estado de las uniones de todos sus tornillos de fijación. También si un cojinete se halla dañado producirá el mal funcionamiento de todo el rodete y la consiguiente vibración. También podría ser que se hallara desequilibrado por haber efectuado un mal montaje, no habiendo tenido la precaución de marcar la posición del compresor con respecto al eje de la turbina que lo sustenta, del modo que se explicó en el capítulo correspondiente sobre este tema. Se tendrá que proceder a desmontarlo y a hacer su equilibrado en una máquina adecuada.

Por último, digamos que los síntomas de vibraciones se deben considerar en unión a los síntomas que hemos descrito en el apartado de «Ruidos anormales del motor».

Con esto finalizamos este capítulo que tiene la pretensión de servir de orientación para la localización de averías. Sin embargo, el diagnóstico no resulta fácil si no se cuenta con el buen criterio, la experiencia y los conocimientos adquiridos por el mecánico en la práctica de su oficio. En este aspecto, el mecánico dedicado a los motores de explosión ya tiene mucho ganado con el conocimiento a fondo de este motor que puede servirle de base, junto con las sugerencias dadas en este capítulo, para diagnosticar con seguridad en los síntomnas que presente un motor Diesel.

12

LA CONDUCCION DE UN AUTOMOVIL CON MOTOR DIESEL

En un libro de las características del presente, dedicado exclusivamente al motor Diesel que equipa a los automóviles, consideramos de importancia incluir también un corto capítulo dedicado a hablar de la conducción de un automóvil de este tipo en comparación con la conducción de un automóvil propulsado por un motor de gasolina, ya que las diferencias son apreciables y el aspecto del vehículo que vamos a conducir el mismo. En efecto: Cualquier conductor de automóvil es muy probable que haya conducido alguna vez alguna furgoneta provista de motor Diesel. Al encontrarse en el interior de una cabina completamente diferente, con una postura también diferente frente a los mandos y al volante, ya le está dando la impresión de que conduce otro tipo de vehículo y ya está mentalmente preparado para recibir otro tipo de reacciones diferentes a las que puede proporcionarle un automóvil. Sin embargo, el conductor de un coche con motor Diesel no encuentra ninguna diferencia inicial en cuanto al vehículo y su posición de conducción (Fig. 1) por lo que si tiene que encontrar alguna novedad en el conjunto ésta va a circunscribirse exclusivamente a las características técnicas del motor Diesel que, como sabemos, tiene una menor potencia y un más elevado par (además de una curva de par más larga y plana) un número de r/min mucho más bajo, menor capacidad de reacción y un ruido muy diferente al que el motor de gasolina nos tiene acostumbrados. En estas condiciones es forzoso pensar en la necesidad de mentalizarse en que, de algún modo, vamos a tener que aprender de nuevo a conducir con un motor de características técnicas muy diferen-

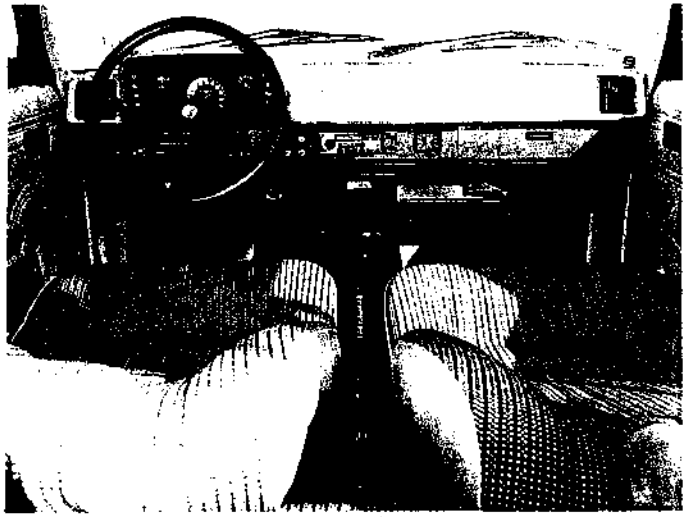


Figura 1. No hay diferencia entre el puesto de conducción de un automóvil tanto si va provisto de motor de gasolina como Diesel. Un puesto de conducción como el presente, perteneciente a un automóvil TALBOT, no nos indica las diferencias que vamos a encontrar entre los dos motores a la hora de conducirlo.

tes que va a requerir un previo aprendizaje de adaptación. Por supuesto, nos estamos refiriendo ahora al hecho de conducir *bien* un automóvil dotado de motor Diesel porque, desde luego, cualquier persona que conduzca bien un automóvil de gasolina está perfectamente facultado para conducir un automóvil equipado con motor Diesel; pero no llegará a conducirlo *bien* hasta que no se haya adaptado a las características particulares de este último motor.

Las diferencias de conducción que un automóvil equipado con motor Diesel plantea vamos a explicarlas dividiendo este capítulo en las tres partes fundamentales que se han de tener en cuenta:

- Arranque
- Conducción durante la marcha normal
- Entretenimiento del automóvil

Vayamos a hacer este estudio por el mismo orden que se han enumerado cada una de estas facetas.

Arranque

El usuario de un automóvil dotado de motor Diesel va a disfrutar de la posibilidad de hacer algunos cientos de kilómetros más con el combustible que llena su depósito que el usuario de un motor de gasolina con el mismo volumen (que, además, ha pagado bastante más caro). Sin embargo, el usuario del motor Diesel va a tener el inconveniente, en principio, de tener mayores dificultades en el arranque en frío que el usuario del motor de gasolina. Verdaderamente, el motor de gasolina puede considerar, entre una de sus grandes ventajas, la de ser el tipo de motor alternativo más fácil de hacer arrancar en cualquiera de las condiciones desfavorables en que pueda encontrarse bajo una temperatura muy fría. Si el motor se encuentra en buen estado y con una correcta puesta a punto, el arranque se debe realizar con gran facilidad. Este no es el caso del motor Diesel.

De las dificultades del arranque y de la manera de llevarlo a cabo se ha hablado con extensión en el pasado capítulo 10 al tratar de las bujías de precalentamiento y del modo de utilizarlas. En todo caso convendrá ahora complementar aquellos conocimientos con una serie de consejos al efecto.

Para una más rápida puesta en marcha conviene tener siempre la batería en muy buen estado. Así como, en el motor de gasolina, la batería puede a veces ser utilizada aun cuando su estado de sulfatación comience a ser avanzado —sobre todo en tiempo cálido— la batería para un motor Diesel debe hallarse a plena carga, pues durante el arranque en frío podemos encontrarnos en el momento más crítico de su utilización, aquel en que vamos a consumir una mayor e importante cantidad de energía eléctrica.

Los motores de automóvil Diesel, que en su gran mayoría son de inyección indirecta, serían los motores térmicos más difíciles de poner en marcha si no fuera por la presencia de esos calefactores que son las bujías de precalentamiento, de modo que hay que tener reserva de energía eléctrica para poder alimentar a estas bujías cuyo tiempo de funcionamiento debe ser justo el necesario. La práctica nos irá dando experiencia sobre el tiempo que estas bujías deben permanecer encendidas, de acuerdo con la temperatura ambiente y la forma como ha dormido el coche (garaje, o en la calle). Así, pues, una de las primeras cosas que hemos de aprender será a tomarle el pulso al tiempo de conexión de estas bujías de precalentamiento.

En los automóviles antiguos era frecuente encontrar un pulsador para el accionamiento independiente de las bujías; pero en la actualidad se suele disponer, en la misma llave de encendido, una posición de la llave en la que funcionan exclusivamente las bujías. Así podemos verlo en la figura 2, en un automóvil PEUGEOT. Una luz testigo (3) anuncia al conductor el tiempo que debe permanecer el precalentamiento encendido. Cuando el motor está muy frío, tal como se explicó en el capítulo 10 citado, las bujías pueden necesitar de 30 a 60 segundos, pero si la temperatura no es extrema, pueden bastar con solamente 7 segundos o, a veces, menos.

Transcurrido el tiempo preciso se aplica el motor de arranque. Muchos motores disponen de un dispositivo de arranque en frío que actúa sobre el

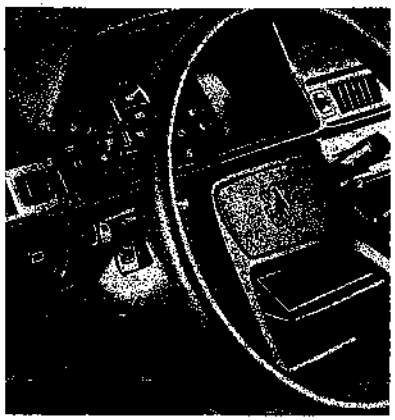


Figura 2. La puesta en marcha se realiza desde la misma llave de contacto (2) una de cuyas posiciones conecta las bujías de precalentamiento. Una luz testigo (3) constituye la luz que anuncia el precalentamiento.

avance y facilita la puesta en marcha a muy bajas r/min, tal como se produce el lanzamiento del motor Diesel por parte del motor eléctrico de arranque. En muchos casos este dispositivo es automático, pero en otros es manual y se tendrá que accionar por parte del propio conductor.

A continuación, ya se podrá poner el motor de arranque en funcionamiento. Pese a que el conductor no ha de perder de vista que el motor Diesel de su automóvil será siempre de una mucho mayor cilindrada que el motor equivalente de gasolina y por lo tanto sus masas móviles serán siempre mucho más pesadas, tendrá más aceite en el cárter que le dificultará el giro mientras esté espeso por el frío, serán mayores las fuerzas necesarias para arrastrar desde la bomba de agua hasta el alternador pasando por el mecanismo de las válvulas, tiene una muy superior relación de compresión, etc., el motor de arranque ha de conseguir hacer girar al motor Diesel con soltura, y se ha de tratar al motor de arranque con los mismos cuidados que son típicos de los motores de gasolina, es decir, no abusando demasiado del tiempo que se halle conectado para no agotar demasiado deprisa la batería.

En el supuesto de que el motor Diesel se encuentre en perfectas condiciones y su arranque sea dificultoso y quede justificado por un frío muy intenso, existen combustibles especiales para facilitar el arranque, que se venden en el comercio, generalmente en forma de spray, y que se introducen a través del filtro de aire de la admisión. Un ejemplo de este tipo de arrancador es conocido con el nombre de *Start-Pilote*. Solamente son recomendables cuando el frío es anormal.

Una vez arrancado, con el motor Diesel hay que tener nuevas precauciones. Por una parte hay que esperar a que las cámaras acumulen el suficiente calor para que se encuentren en una temperatura mínima de funcionamiento. Se ha de calentar el agua de refrigeración mínimamente para que el aire comprimido en el tiempo de compresión pueda alcanzar bien la temperatura de autoencendido de gasóleo y esta temperatura la ha de ceder el combustible mismo. Por otra parte, hay que contar con el hecho de que el aceite estará muy espeso y se tendrá una alta presión en el manómetro, indicio de que el engrase todavía no es correcto. Se tendrá que esperar también a que el aceite se vaya calentando antes de poderle exigir al motor sus prestaciones importantes.

De ello se deduce que convendrá mantener el motor en marcha de ralentí durante unos minutos para facilitar este calentamiento previo, y luego se deberá permanecer durante los primeros kilómetros manteniéndose en regímenes de giro bajos hasta que la temperatura de agua y aceite se estabilicen dentro de sus valores normales. De hecho esta misma condición también hay que tenerla en los motores de explosión salvo que el Diesel requiere un más estricto cumplimiento por la utilización de sus aceites de engrase que son generalmente monogrados.

Una vez puesto el coche ya en carretera pasemos a ver la segunda parte de este capítulo.

Conducción durante la marcha normal

La sorpresa que va a producir un automóvil equipado con motor Diesel para una persona que lo conduzca por primera vez puede ser percibida desde dos puntos de vista:

Para el conductor acostumbrado al motor de gasolina, que no está preocupado por obtener bajos consumos y que se dedica exclusivamente a conducir el motor de gasolina tal como éste pide ser conducido, que se mantiene, por lo tanto, dentro de los regímenes altos de giro, cambia la velocidad del cambio si el régimen decae antes de que llegue al punto de par máximo y acelera siempre por encima de este régimen de par, un automóvil Diesel, incluso de igual potencia, le va a parecer un carromato. Echará siempre en falta la respuesta del motor al acelerador, esa obediencia tan precisa que el motor de gasolina presta cuando, en los regímenes de giro medios, se le aprieta el pedal del gas y el motor escala rápidamente las altas cotas.

Por otro lado, el conductor acostumbrado al motor de gasolina, pero que siempre ha conducido estirando mucho las marchas, que apenas el coche se mueve ya le pone la segunda velocidad y casi inmediatamente la tercera, etcétera, que se ha enorgullecido de sus bajos promedios de consumo después de un viaje largo, que ha trabajado, en definitiva, los regímenes de giro bajos del motor de gasolina, al conducir un automóvil con motor Diesel, incluso de inferior potencia, tendrá la impresión de hallarse frente a un motor mucho más potente que el motor de explosión al que estaba acostumbrado. ¿Qué ha

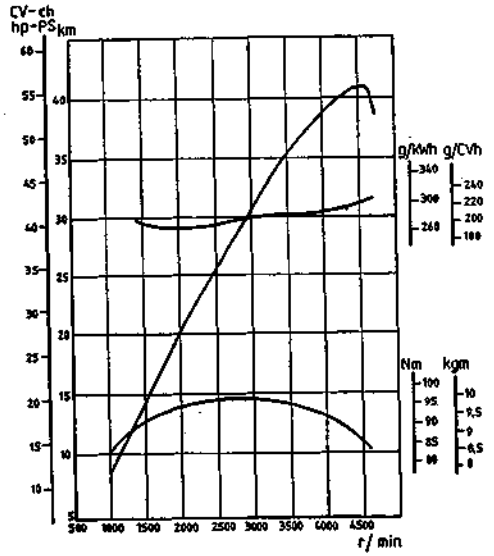


Figura 3. Curvas características del motor Diesel de un modelo SEAT.

ocurrido, pues, para que dos conductores formados en el mismo tipo de motor tengan una reacción tan dispar frente al motor Diesel?

La respuesta a esta pregunta nos va a indicar ya la forma adecuada de conducir un Diesel. Es evidente que el segundo conductor está conduciendo desde siempre el motor de gasolina trabajando con su curva de par mientras el primer conductor descrito trabaja con la potencia del motor. Como quiera que el motor Diesel aplicado a nuestros automóviles tiene siempre menor potencia que el motor de gasolina que lo equipa, el conductor que conduce aprovechando y distribuyendo la potencia del motor a las condiciones del terreno saca un gran partido del motor de explosión porque siempre dispone no solamente de mayor potencia, sino además de una mayor rapidez en obtenerla.

Por el contrario, el conductor que se acostumbró a trabajar la línea de par del motor de gasolina, dado el hecho de que esta curva es muy poco plana en este motor, siempre se ha encontrado con «tirones» del mismo, con una respuesta muy lenta al apretar el gas y con el uso del cambio a los menores obstáculos del terreno. Cuando se pone a los mandos de un automóvil equi-

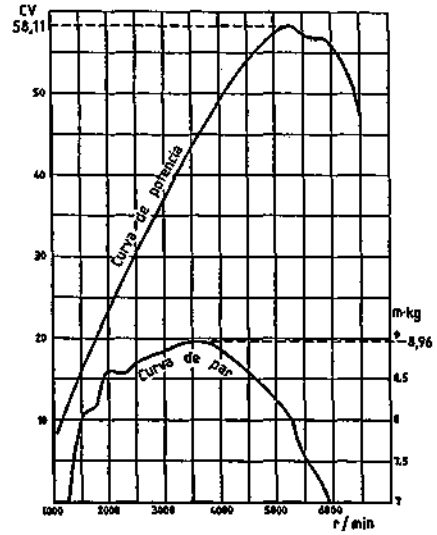


Figura 4. Curvas características de un modelo RENAULT equipado con motor de gasolina, de una potencia similar al motor Diesel de la figura anterior.

pado con motor Diesel su primera agradable sorpresa la encuentra en una curva de par mucho más alta, es decir, con mucha mayor fuerza, y además mucho más plana, lo que significa que ya a muy pocas vueltas de régimen de giro del motor dispone de un par extraordinariamente elevado con respecto a la misma velocidad de giro en un motor de gasolina. Pero, además, este par maximo se le prolonga durante más tiempo de modo que siempre tiene mucha fuerza en los regímenes bajos. Dado que él está acostumbrado a conducir manteniéndose en estos regímenes bajos, al Diesel lo encuentra mucho más «potente», o dicho de otra manera, le da la impresión de que «tira» más. Y esto es efectivamente así. No se trata de un espejismo. Lo que pasa es que solamente ocurre en los regímenes bajos del motor.

Analicemos un poco más a fondo esta cuestión que resulta fundamental para formarnos un criterio de conducción. En la figura 3 tenemos las curvas características propias de un motor Diesel. (Se trata en este caso del motor que equipa al SEAT, modelo RONDA). Como puede verse, la curva de par (P) se mantiene muy plana entre las 2.000 y las 3.500 r/min. Es una gama muy

amplia teniendo en cuenta que este motor tiene su máximo régimen de giro en las 4.500 r/min. Podríamos decir, por lo tanto, que disponemos de un buen par motor (cercano a 10 kgm) durante un tercio del recorrido total del régimen, lo que significa un 33 %.

En la figura 4 tenemos unas curvas propias de un motor de gasolina de bastante menor cilindrada pero de una potencia similar. Si observamos la curva de par vemos que solamente a 3.500 r/min alcanza los 8,96 kgm, pero inmediatamente la curva baja tanto sea a mayor como a menor régimen del motor. Con mucho, podría decirse que este motor mantiene un buen par entre las 3.250 a las 3.750 r/min, es decir, dentro de un margen de unas 500 r/min que representan en el total algo así como un 9 %.

Si en el primer caso nos estamos manteniendo en carretera a unas 4.000 r/min y en un momento determinado nos encontramos en una subida, veremos que con el motor Diesel a medida que baja el régimen de giro por efecto de la mayor resistencia a vencer aumenta el par por lo que el motor se mantiene firme y aguanta la velocidad enigranada. Si el esfuerzo todavía es superior aun cuando continúe bajando de vueltas el valor del par se irá manteniendo de modo que, por lo menos hasta las 2.000 r/min tendremos fuerza en las ruedas para seguir adelante.

Mantenido en las mismas condiciones el motor de gasolina que vemos en la figura 4 nos obligaría a un cambio de la velocidad. En efecto: si nos mantenemos a 4.000 r/min en carretera, y nos aumenta la resistencia por iniciarse una subida, la primera reacción del motor está en bajar de vueltas, pero como que inmediatamente se nos acaba el par máximo nos encontramos en que al mismo tiempo nos baja la potencia y el par de modo que el motor se nos derrumba y hay que acudir al cambio de la velocidad para recuperar el régimen de giro por encima de las 4.000 r/min.

Esta situación no se presentaría en el motor de gasolina si nosotros estuviéramos conduciendo con la potencia, es decir, si hubiéramos iniciado la subida a 5.000 r/min, por ejemplo; pero ello sería otra forma de conducir.

De acuerdo con estas observaciones previas podríamos sacar las siguientes conclusiones: En primer lugar que el motor Diesel es el más adecuado para todos aquéllos conductores de motores de gasolina que, consciente o inconscientemente, trabajan mucho los regímenes bajos del motor, es decir, conducen siempre y por hábito muy lejos de la velocidad máxima que el vehículo que llevan puede alcanzar. Por ejemplo, consideran que una velocidad de crucero de 100 km/h es más que suficiente para llegar a todas partes aun cuando dispongan de coches medios que puedan superar los 170 km/h. Y ello lo hacen por seguridad propia y por el convencimiento de que mayores velocidades que la adoptada como crucero resultan excesivamente rápidas para sus reflejos y su atención.

En segundo lugar, el motor Diesel es adecuadísimo para aquellos conductores obsesionados por el consumo reducido de combustible. Estos conductores se mantienen siempre a regímenes bajos de una manera voluntaria y además usan todas las técnicas conocidas para ahorrar combustible: Frenan lo menos posible, aceleran con la máxima suavidad y lentitud, aprovechan las bajadas y lanzan el coche antes de las subidas para aprovechar la máxima inercia... Para estos conductores el cambio a un motor Diesel solamente significará ventajas en la conducción y todavía ahorrarán más combustible con menos esfuerzo.

Nada más lejos de la conducción deportiva que un motor Diesel según lo que se acaba de decir. Aun cuando los automóviles modernos pueden alcanzar velocidades punta apreciables, por encima de los 135 km/h, el motor Diesel puede mantenerse bien en carretara entre 110 a 120 km/h de velocidad de crucero, pero ello no exime de un manejo general parsimonioso, de unas aceleraciones tranquilas y de un sentido del aprovechamiento de la inercia que el propio vehículo va adquiriendo. Por lo demás, el uso de suspensiones generalmante preparadas para circular a gran velocidad y para estar sometidas a rabiosas aceleraciones, como ocurre cuando el mismo modelo de automóvil va equipado con motor de gasolina, hacen del automóvil Diesel una pieza tranquila pero muy segura. Y lo mismo podría decirse de los frenos. En su consecuencia, y finalmente, digamos que la conducción del motor Diesel en carretera debe haberse llevado el motor a un número de vueltas relativamente elevado para que disponga siempre de un par de reserva amplio, de modo que cuando se aumente el esfuerzo a vencer pueda ocurrir que o bien crezca el par o éste se mantenga dentro de su curva plana que es característica.

Entretenimiento del automóvil

Si al motor Diesel se le acepta por su bajo consumo y por su tranquilo modo de ser conducido, y se está dispuesto a prescindir de unas aceleraciones brillantes, ya se ha obtenido el automóvil ideal y económico que vale la pena pagar algo más a la hora de la compra para disfrutarlo. A estas ventajas unirá todavía la robustez de su construcción y un comportamiento infatigable para los largos viajes que le permitirán permanecer horas y horas funcionando sin la menor prueba de cansancio ni desajuste mecánico.

Sin embargo, el motor Diesel requerirá un cuidado muy escrupuloso en todos los trabajos de entretenimiento que le afecten, y que el conductor debe proporcionarle con toda regularidad y con mayor atención a la que suele hacerse normalmente con el motor de gasolina. En este aspecto, el circuito que resulta especialmente delicado es, sin duda, el de inyección y también el de admisión, y en especial a todo lo referente a los filtros (Fig. 5). En otra parte de esta obra ya se ha explicado cómo se debe llevar a cabo la limpieza de los filtros y la retirada y sustitución de los cartuchos filtrantes, así como la limpieza de los posos que quedan en el fondo de ciertos vasos decantadores en los que se acumula el agua que contiene el combustible. Este tipo de filtros no los llevan todos los vehículos pero hay que limpiarlos con regularidad en los que los llevan.

El estado del filtro de aire debe controlarse con todo cuidado para que no constituya un obstáculo para el paso del aire que el Diesel necesita, como se ha dicho, en grandes cantidades. Se tendrá que cambiar el cartucho (si el

Figura 5. Colocación del filtro principal de combustible en un modelo de la casa TALBOT. Generalmente estos filtros se encuentran en posiciones cómodas para acceder a ellos y facilitar el sangrado de su circuito.

filtro es de este tipo) o recambiar el aceite del filtro con toda regularidad. En cuanto a los filtros de gasóleo son generalmente de cartuchos recambiables, de modo que hay que sustituir todo el cartucho por otro nuevo, en aquellos periodos indicados por el fabricante.

Estas operaciones ha de saberlas hacer el propio usuario, y también ha de saber purgar el circuito para eliminar todo el aire que pueda existir en él, operación que hay que conocer porque es posible que incluso pueda darse el caso de que tenga que llevarse a cabo en ruta si por cualquier circunstancia el circuito se queda descebado o se produce una entrada de aire irregular a través de un racor mal apretado, por ejemplo. Por otra parte, no hay que descartar la posibilidad de quedarse sin combustible en el depósito, o con muy poco de él, por lo que el tubo de conducción puede tomar aire y trasladarlo al circuito de alimentación, lo que daría como resultado el sangrado del mismo. Pues bien: en este aspecto hay que recordar lo exigente que es el motor Diesel.

De igual modo hay que cuidar de los cambios de aceite y la sustitución del filtro, operación que, como en el motor de gasolina, suelen hacerla en talleres especializados.

También en el circuito de refrigeración hay que mantenerse alerta para que no hayan fugas o pérdidas que puedan perjudicar la refrigeración del motor Diesel, aspecto en el que también resulta delicado. Muchos fabricantes aconsejan el cambio del líquido refrigerante por lo menos una vez al año,

pero ello depende de las condiciones del motor y de lo que crea oportuno al respecto su constructor.

Por último, hay que vigilar siempre el buen estado del alternador y de la carga eléctrica que proporciona para que la baterías se reponga suficientemente y se mantenga a un estado óptimo de carga, situación que tiene la mayor importancia a la hora del arranque en frío del motor como ya se ha visto en otro lugar.

Para terminar esta parte recordemos al lector que los trabajos necesarios para un sangrado del circuito fueron descritos con detalle en el pasado capítulo 7 y también añadir a este respecto que algunas bombas de inyección modernas han sido diseñadas para evitar la operación manual del cebado por parte del usuario, y llevan un dispositivo tal que baste accionar el motor de arranque durante algunos segundos para que automáticamente se cebe el circuito y la alimentación de combustible se restablezca en buenas condiciones sin necesidad de efectuar la operación de accionamiento de la bomba manual y el sangrado a través de los filtros. De todos modos hay que cerciorarse de que la bomba de nuestro automóvil sea de este tipo.

En general, el mantenimiento correcto del motor es la mejor garantía para realizar sin riesgos un viaje y para conseguir al mismo tiempo el mejor rendimiento del motor.

Conducción económica

Para finalizar vamos a dar unos pocos consejos sobre la actitud que hay que adoptar cuando lo que se quiere es llevar a cabo una conducción económica. Siendo el motor Diesel un motor de elevado rendimiento, su economía de consumo se pone de manifiesto en cualquier momento en que lo comparemos con el motor de gasolina. No obstante, también conduciendo un motor Diesel puede acentuarse su valor de economía de consumo si lo conducimos de una manera cuidadosa y con el afán de realizar un aprovechamiento máximo de las condiciones caloríficas del combustible empleado llevando a cabo lo que suele llamarse una conducción económica.

La conducción económica pasa siempre por mantener una marcha lo más regular posible aprovechando la inercia que el vehículo ha adquirido. Una velocidad de crucero muy recomendable a este respecto se mantiene normalmente alrededor de los 90 km/h teniendo engranada, por supuesto, la última velocidad hacia adelante. En este punto se suele dar el hecho de mantener el par máximo en el mínimo número de r/min, zona en la que se encuentra el menor consumo de combustible posible.

El éxito fundamental de la conducción económica vamos a encontrarlo en la racional utilización del frenado y de la aceleración. En lo que respecta al primero no hay que olvidar que el frenado consiste, desde un punto de vista energético, en convertir en calor la energía cinética que lleva un vehículo la cual, por otra parte, se ha tenido que conseguir a base de la energía del combustible en una aceleración anterior. Pues bien: en prever a larga distancia

los obstáculos que pueden hacernos frenar y dejar que el automóvil por si solo consuma la energía cinética que ha conseguido, está buena parte de la clave para hacer kilómetros a muy bajo costo. De igual modo, las aceleraciones deben ser de lo más dulces posibles y consiguientemente tan lentas como sea necesario, de modo que las combustiones se vayan realizando completamente a medida que se oprime lentamente el pedal acelerador.

La conducción económica requiere saber utilizar la inercia gratuita que el vehículo recibe en las bajadas y aprovecharla para acelerar en este momento y mejorar la velocidad y la inercia del automóvil para escalar en mejores condiciones una subida próxima. También requiere tener el sentido de la anticipación, es decir, saber ver los obstáculos mucho antes de llegar a ellos para hacerlo con el vehículo en condiciones de retención que hagan prácticamente innecesario el frenado, etcétera.

Todos estos detalles en la conducción pueden llevar a la obtención de unos consumos inverosímiles con un Diesel después de un largo viaje por carretera.

Conclusión

Y con lo dicho vamos a terminar no solamente este breve capítulo de orientación sobre la forma de conducir un automóvil con motor Diesel, sino también el libro en general en el que hemos procurado dar al lector una visión amplia de lo que es el motor Diesel que se está montando actualmente en los automóviles modernos.

ÍNDICE

1. Introducción técnica al motor Diesel

Introducción 11
Comportamiento durante el ciclo 14
Algunos principios elementales 20
La energía 21
La energía y el calor 26
La termodinámica y sus ciclos 30
Diferentes transformaciones termodinámicas 31
1. Transformación isoterma o a temperatura constante 31
2. Transformación isocora o a volumen constante 32
3. Transformación isobara o a presión constante 32
4. Transformación adiabática o sin cambio de calor al exterior ... 33
5. Transformación politrópica 34
Los ciclos termodinámicos 34
Diferentes tipos de ciclos 35
Ciclo a temperatura constante 37
Ciclo a volumen constante 38
Ciclo a presión constante 39
Ciclo de dos tiempos 40
Rendimiento termodinámico 41
Ciclo real de los motores Diesel 42
Rendimiento efectivo 46
La relación de compresión 48

2. El motor Diesel y el automóvil

Comparación entre el motor Diesel y el de gasolina 58
Economía de consumo 58
Aceleración 61
Fiabilidad 64
Ruido 65
Fuerza 66
Precio de adquisición 68
Contaminación atmosférica 69
Riesgo de incendio 69
El motor Diesel en el automóvil 70
Motores sobrealimentados 77
Futuro del motor Diesel en el automóvil 80

3. Estructura del motor Diesel

Disposición del motor Diesel en el automóvil 84
Estructura del motor Diesel 87
Organos fijos principales 89
Organos móviles principales 103
Organos auxiliares 123
La distribución 124
La refrigeración 134
Los colectores 142
Conclusión 146

4. La combustión

La combustión 148
Ingredientes de la combustión 149
El aire 149
El combustible 151
El proceso de la combustión 153
Exceso de aire 157
Punto de encendido 158
Proceso de combustión 159
Resultados de la combustión 162
Características del avance 165
Los motores Diesel según la inyección 166
Motores Diesel de inyección directa 167
Motores Diesel de inyección indirecta 173
Comparación entre los motores de inyección directa e indirecta 181

Otros tipos de cámaras 183
El picado 186

5. La inyección (I) las bombas en línea

Estructura básica de un sistema de inyección 192
La bomba de inyección 196
Conclusión 243

6. La inyección (II) las bombas rotativas

Esquema del funcionamiento de las bombas rotativas 246
Bomba rotativa tipo DPA de la CAV 251
Regulador hidráulico 255
Reglaje del caudal máximo 257
Avance automático 259
Bombas DPA con regulador mecánico 261
Bomba rotativa BOSCH, tipo EP/VA 265
Parte mecánica 267
Parte hidráulica 268
Bomba rotativa BOSCH, tipo EP/VE 277
El regulador mecánico centrífugo 280
Conclusión 286

7. Inyectores y circuito de alimentación

Inyectores 287
Constitución de un inyector 289
Diferentes clases de inyectores 291
Inyectores de espiga 291
Inyectores de orificios 292
Lubricación 293
Inyectores modernos 293
Trabajos prácticos con los inyectores 295
Desmontaje del inyector del motor 295
Limpieza del inyector 298
Control del inyector 301
Control de funcionamiento 302
Control de presión y tarado 303
Control de estanqueidad 305
Control de pulverización y dirección del chorro 305
Síntoma del fallo de los inyectores 307
Circuito de alimentación de combustible 308
La bomba de alimentación 309

Los filtros principales 312
Purga de aire en el circuito de alimentación 320

8. Puesta a punto de motores Diesel

Puesta a punto de la inyección 326
Puesta a punto y comprobación sobre el banco 327
Puesta a punto en el motor 336
Puesta a punto de la distribución 353

9. La sobrealimentación

Compresores 359
Turbocompresores 362
Algunas características técnicas 364
Relación de compresión 365
Inyección 365
Engrase 366
Aplicación del turbo 366
Dificultades de arranque 368
Válvulas reguladoras 368
Constitución de un turbocompresor 371
Trabajos de mantenimiento 371
Desmontaje del turbo del motor 374
Desmontaje del turbocompresor 375
Montaje del turbocompresor 385
Conclusión 388

10. Parte eléctrica

Dificultades en el arranque 390
Bujías de precalentamiento 391
Diferentes clases de bujías 393
Conexión de las bujías de precalentamiento 396
Puesta en marcha 398
Resistencias de calentamiento de la admisión 399
Conclusión 400

11. Localización de averías

A. Dificultades en el arranque 404
1. El motor Diesel no gira al conectar el motor de arranque 404

2. El motor Diesel gira pero no arranca 405
3. El motor arranca pero se para 408
B. Funcionamiento defectuoso del motor 410
C. Ruidos anormales del motor 415
D. Consumo excesivo 418
E. Análisis de humos 420
F. Vibraciones 424

12. La conducción de un automóvil con motor Diesel

Arranque 429
Conducción durante la marcha normal 431
Entretenimiento del automóvil 435
Conducción económica 437
Conclusión 438