

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**SISTEMAS DE INYECCION DIESEL PARA MOTORES DE
CUATRO TIEMPOS, SECCIONAMIENTO DIDACTICO**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

POR

ENRIQUE DUCAS ILLESCAS

AL CONFERIRLE EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO

GUATEMALA, DE ENERO 1999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**SISTEMAS DE INYECCION DIESEL PARA MOTORES
DE CUATRO TIEMPOS, SECCIONAMIENTO DIDACTICO**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha de 28 de febrero de 1995 No. 002.95



Enrique Ducas Illescas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



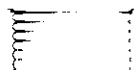
FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
Vocal 1o:	Ing. Francisco Gómez Rivera
Vocal 2o:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Vocal 3o:	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quitana
Vocal 4o:	Bachiller Dimas Alfredo Carranza Barrera
Vocal 5o:	Bachiller José Enrique López Barrios
Secretario:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Julio Ismaél González Podszueck
Examinador:	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
Examinador:	Ing. Julio César Campos Paiz
Examinador:	Ing. Edward Asumanché Morales Machamé
Secretario:	Ing. Francisco Javier González López





FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Area Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Sistemas de Inyección Diesel para Motores de Cuatro Tiempos, Seccionamiento Didáctico, del estudiante Enrique Ducas Illescas, recomienda su Autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Molina Zaldivia
Coordinador de Area

Guatemala, enero de 1,999.

Guatemala, octubre de 1998

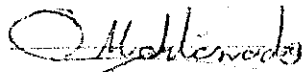
Ingeniero
Carlos Pérez
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala

Señor Director:

Me permito comunicarle que he tenido a la vista el informe final de Tesis de Graduación del estudiante Enrique Ducas Illescas, carnet 90-13306 "SISTEMAS DE INYECCION DIESEL PARA MOTORES DE CUATRO TIEMPOS, SECCIONAMIENTO DIDACTICO" y, después de realizar las revisiones correspondientes, he encontrado que es satisfactorio, procediendo por este medio a su aprobación.

El autor de esta Tesis y el suscrito asesor, nos responsabilizamos por el contenido y conclusiones que en ella se exponen.

Atentamente,


Ing. Oscar Eduardo Maldonado de la Roca
Colegiado Activo No. 2823



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

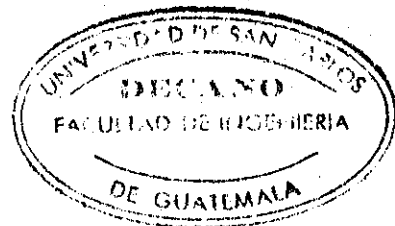
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Sistemas de Inyección Diesel par Motores de Cuatro Tiempos, Seccionamiento Didáctico**, presentado por el estudiante universitario Enrique Ducas Illescas, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO

Guatemala, febrero de 1,999.



Acto y tesis que dedico a mi madre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	XIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. EL MOTOR DIESEL, DISEÑOS RECIENTES	1
1.1 Historia del motor Diesel	1
1.2 Ciclo de potencia Diesel	3
1.3 Ciclo de potencia Diesel real	5
1.4 Componentes de un motor diesel de diseño moderno	10
1.4.1 Bloc	10
1.4.2 Cigüeñal	10
1.4.3 Eje de levas	11
1.4.4 Pistones	13
1.4.5 Cojinetes de fricción	14
1.4.6 Culata	14
1.4.7 Válvulas	16
1.4.8 Eje de balancines	16
1.4.9 Ejes balanceadores	17
1.4.10 Bomba de aceite	18
1.4.11 Intercambiadores de calor	19
1.4.12 Turbocompresor	20
1.4.13 Trampas de agua	21
1.4.14 Válvulas de relación aire combustible	22
1.4.15 Inyectores	23
1.5 Sistema de motor diesel	25

1.5.1	Enfriamiento	25
1.5.2	Lubricación	28
1.5.3	Alimentación de combustible	29
2.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL	33
2.1	Cámara de combustión con inyección directa	33
2.2	Cámara de combustión con inyección indirecta	34
2.2.1	Procedimiento con cámara de precombustión	34
2.2.2	Procedimiento con cámara de turbulencia	35
2.3	Inyección mediante conjunto de elementos con posición en línea o en V	36
2.3.1	Elemento de sesgo	37
2.3.1.1	Tipos de sesgo	40
2.3.1.2	Aplicaciones de los tipos de sesgo	40
2.3.2	Tipo manguito	42
2.4	Inyección con elemento rotativo	43
2.4.1	Por medio de pistones	43
2.4.2	Por medio de una leva plana	45
2.5	Inyección con bomba de transferencia diesel e inyectores tipo bomba	46
2.5.1	Con medición de caudal de entrega por medio de un orificio	46
2.5.2	Con medición de caudal por émbolo	48
2.6	Gobernador en el sistema de inyección	49
2.6.1	Gobernador mecánico	51
2.6.2	Gobernador hidráulico	53
2.6.3	Gobernador neumático	56
2.7	Avance del sistema de inyección Diesel	58

2.7.1	Por engranaje de avance	60
2.7.2	Avance hidráulico	61
2.7.3	Avance por leva	63
2.8	Válvulas de relación aire combustible	64
3.	DESCRIPCION, PRUEBA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE INYECCION, SELECCIONADOS	65
3.1	Lineal Bosch	65
3.1.1	Bomba lineal de cuerpo compacto tipo M	65
3.1.2	Bomba lineal de cuerpo abierto tipo P	66
3.1.3	Bomba individual de brida de fijación	67
3.1.4	Reguladores mecánicos (de fuerza centrífuga)	68
3.1.4.1	Reguladores de máxima y mínima RQ	69
3.1.4.2	Reguladores de máxima y mínima RQU	75
3.1.4.3	Reguladores de máxima RQ y RQU	76
3.1.4.4	Regulador de todo régimen RQV	77
3.1.4.5	Regulador de todo régimen RQUV	85
3.1.4.6	Regulador de todo régimen RQV .. K	86
3.1.4.7	Reguladores de escalones RQV y RQUV	92
3.1.4.8	Regulador de todo régimen EP/RSV	94
3.1.4.9	Regulador de todo régimen EP/RSUV	99
3.1.4.10	Regulador de máxima y mínima EP/RS	100
3.2	Bomba rotativa Bosch	105
3.2.1	Generalidades	106
3.2.2	Alimentación de baja presión	107
3.2.3	Bomba de alimentación de aletas	108
3.2.4	Accionamiento de émbolo distribuidor	110
3.2.5	Discos de levas y formas de leva	111

3.2.6	Conjunto de la bomba	111
3.2.7	Dosificación de combustible	112
3.2.8	Válvula de impulsión	114
3.2.9	Válvula de impulsión con estrangulador de retorno	116
3.2.10	Tuberías de impulsión	117
3.2.11	Variador de avance	117
3.2.12	Construcción	119
3.2.13	Funcionamiento	120
3.3	Bomba rotativa CAV	122
3.3.1	Funcionamiento de la bomba	123
3.3.2	Elemento de bombeo	125
3.3.3	Mecanismo de avance o del adelanto de inyección	127
3.4	Sistema de combustible Caterpillar	129
3.4.1	Sistema de dosificación con manguito	130
3.4.2	Funcionamiento de la bomba	134
3.4.3	Gobernador	138
3.4.4	Amortiguador de cierre de gobernador	143
3.5	Sistema de combustible Cummins PT	143
3.5.1	Componentes del sistema de combustible	146
3.5.2	Inyectores	152
3.5.3	Ciclo de inyección del combustible	161
3.5.4	Componentes de la bomba de combustible PT	163
3.5.5	Funcionamiento del gobernador	165
3.6	Sistemas de combustible Detroit Diesel	169
3.6.1	Inyectores unitarios	172
3.6.2	Control de combustible	176
3.6.3	Desmontaje e instalación del inyector	181
3.6.4	Prueba de inyectores	182

3.6.5	Reacondicionamiento del inyector	184
3.6.6	Ajustes del inyector	185
3.6.7	Gobernador	185
4.	DESCRIPCION DE EQUIPO DE CALIBRACION Y PRUEBA	190
4.1	Banco universal de prueba para bombas de inyección diesel	190
4.2	Equipos para pruebas de inyectores	191
5.	MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS	193
5.1	Alineación de marcas	193
5.2	Método de goteo	194
5.3	Método de goteo con alta presión	195
5.4	Tubo capilar	196
5.5	Método de soplar	197
5.6	Poner a tiempo bomba CAV	198
5.7	Poner a tiempo bombas PFR	199
5.8	Poner a tiempo bombas PF	199
5.9	Control dinámico de la marca	200
5.10	Bombas rotativas tipo denso	201
5.11	Bombas rotativas Bosch	202
5.12	Bombas sin posibilidades de fijar	203
	CONCLUSIONES	205
	RECOMENDACIONES	206
	BIBLIOGRAFIA	207

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

No.	Título	Pág.
1	Ciclo de potencia diesel	3
2	Ciclo de potencia diesel	4
3	Ciclo de potencia diesel	4
4	Ciclo de potencia diesel	5
5	Ciclo de potencia diesel real (1er. tiempo)	6
6	Ciclo de potencia diesel real (2º. tiempo)	8
7	Ciclo de potencia diesel real (3er. tiempo)	9
8	Ciclo de potencia diesel real (4º. tiempo)	9
9	Cigüeñal	11
10	Eje de levas	12
11	Pistones	13
12	Cojinetes de fricción	14
13	Culata	15
14	Válvulas	16
15	Eje de balancines	17
16	Ejes balanceadores	18
17	Bomba de aceite	18
18	Intercambiadores de calor (enfriadores de aceite)	19
19	Intercambiadores de calor (postenfriadores)	20
20	Turbocompresor	21
21	Trampas de agua	22
22	Válvulas de relación aire combustible	23

No.	Título	Pág.
23	Inyectores	24
24	Enfriamiento	27
25	Lubricación	29
26	Alimentación de combustible	32
27	Cámara de combustión con inyección directa	34
28	Motor diesel con cámara de turbulencia y con cámara de precombustión	36
29	Inyección por conjunto de elementos con posición en línea o en V	37
30	Elemento de sesgo	39
31	Tipos de sesgo	40
32	Aplicaciones de los tipos de sesgo (sesgo inferior)	41
33	Aplicaciones de los tipos de sesgo (sesgo superior)	41
34	Aplicaciones de los tipos de sesgo (uso de ambos)	42
35	Tipo manguito	43
36	Inyección con elemento rotativo por medio de pistones	44
37	Inyección con elemento rotativo por medio de una leva plana	46
38	Inyección con bomba de transferencia diesel e inyectores tipo bomba con medición de caudal de entrega por medio de un orificio	47
39	Inyección con bomba de transferencia diesel e inyectores tipo bomba con medición de caudal por émbolo	48

No.	Título	Pág.
40	Gobernador en el sistema de inyección	50
41	Gobernador mecánico	52
42	Gobernador hidráulico	55
43	Gobernador neumático	57
44	Avance del sistema de inyección diesel	59
45	Avance del sistema de inyección diesel por engranaje de avance	61
46	Avance del sistema de inyección diesel por avance hidráulico	62
47	Avance del sistema de inyección diesel por avance de leva	63
48	Válvulas de relación aire combustible	64
49	Bomba lineal Bosch de cuerpo compacto tipo M	66
50	Bomba lineal Bosch de cuerpo abierto tipo P	67
51	Bomba individual Bosch por brida de fijación	68
52	Reguladores de máxima y mínima RQ	71
53	Reguladores de máxima y mínima según comportamiento en servicio	72
54	Dispositivo de asimilación en el regulador RQ	75
55	Regulador de máxima y mínima RQU	76
56	Regulador de máxima RQ y RQU	77
57	Regulador de todo régimen RQV	79
58	Regulador de todo régimen RQV (posición de arranque)	80
59	Regulador de todo régimen RQV (posición de ralenti)	80

No.	Título	Pág.
60	Regulador de todo régimen RQV (carga del motor)	83
61	Regulador de todo régimen RQV (corte en alta)	84
62	Regulador de todo régimen RQUV	85
63	Regulador de todo régimen RQV.. K	87
64	Regulador de todo régimen RQV.. K (arranque de motor)	88
65	Regulador de todo régimen RQV.. K (ralenti)	89
66	Regulador de todo régimen RQV.. K (caudal de plena carga a bajo régimen)	90
67	Reguladores de escalones RQV y RQUV	93
68	Regulador de todo régimen EP/RSV	95
69	Regulador EP/RSV - Posición de arranque	95
70	Regulador de velocidades inferiores	97
71	Parada de motor con palanca de mando	98
72	Parada de motor con palanca parada	99
73	Regulador de todo régimen EP/RSUV	100
74	Regulador de máxima y mínima EP/RS	101
75	Regulador EP/RS - Posición de arranque	102
76	Regulador EP/RS - Posición de ralenti	103
77	Curvas características del regulador EP/RS	104
78	Regulación de la velocidad máxima a plena carga	104
79	Parada de motor	105
80	Generalidades de la bomba rotativa Bosch	106
81	Alimentación de baja presión	108
82	Bomba de alimentación de aletas	110

No.	Título	Pág.
83	Conjunto de la bomba	112
84	Dosificación de combustible de bomba Bosch	114
85	Válvula de impulsión de bomba Bosch	116
86	Variador de avance de bomba Bosch	119
87	Construcción de bomba Bosch	120
88	Funcionamiento bomba Bosch	121
89	Bomba de distribuidor CAV con gobernador hidráulico	122
90	Bomba de inyección tipo distribuidor	125
91	Ciclo de bombeo de la bomba de distribuidor	127
92	Bomba de distribuidor con gobernador mecánico	128
93	Válvulas de entrega	129
94	Sistema de combustible Caterpillar con dosificación por manguito	130
95	Sección de bomba de combustible con dosificación por manguito	134
96	Funcionamiento de bomba de combustible con dosificación por manguito	135
97	Instalación de una bomba de combustible de dosificación por manguito	138
98	Gobernador por un motor en V	139
99	Sistema de combustible PT para un motor tipo en V	145
100	Sistema de combustible completo	147
101	Bombas de engranes	148
102	Componentes del gobernador	149

No.	Título	Pág.
103	Acelerador	150
104	Válvula de paro	152
105	Inyector y mecanismo de accionamiento simplificado	153
106	Diagrama del sistema de combustible completo	155
107	Piezas del inyector PT	156
108	Funcionamiento del inyector PT	159
109	Ciclo de inyección de combustible del inyector PT	162
110	Componentes de la bomba de combustible PT	164
111	Componentes del gobernador	166
112	Sistema de inyector unitario	169
113	Instalación del inyector unitario	173
114	Piezas externas del inyector unitario	173
115	Corte seccional de un inyector unitario	174
116	Funcionamiento del émbolo del inyector	177
117	Ubicación del inyector unitario	179
118	Componentes del inyector unitario	180
119	Probador para inyectores unitarios	183
120	Gobernador de velocidad limitada	187
121	Motor Detroit Diesel V-6	188
122	Bomba de distribuidor en el probador	191
123	Dispositivo para verificación de inyectores	192
124	Alineación de marcas	193
125	Método de goteo	194

No.	Título	Pág.
126	Método de goteo con alta presión	195
127	Tubo capilar	196
128	Método de soplar	197
129	Poner a tiempo bomba CAV	198
130	Poner a tiempo bombas PFR	199
131	Poner a tiempo bombas PF	200
132	Control dinámico de la marca	201
133	Bombas rotativas tipo denso	202
134	Bombas rotativas Bosch	203
135	Bombas sin posibilidades de fijar	204

GLOSARIO

- Asimilación** Es la que permite aprovechar, óptimamente, el par motor. No es un procedimiento de regulación propiamente dicho, sino una de las funciones de mando confiadas al regulador. Se utiliza para regular el caudal de plena carga, es decir, la cantidad máxima de combustible suministrada y quemada sin humo en el margen de carga del motor.
- Caudal** Cantidad de propiedad extensiva, transportada por unidad de tiempo en una cierta dirección.
- Carrera** El recorrido total del movimiento de un pistón del cilindro de un motor
- Carrera de explosión** Carrera de expansión de un motor de combustión interna
- Cavitación** Formación de burbujas de vapor (cavidades) en el seno de los líquidos, bien por vaporización de los mismos a causa de la disminución de presión que se produce en las proximidades del sólido que se mueve en contacto con ellos a gran velocidad (rotores de bombas, agitadores, etc.) bien por la acción de ondas sónicas de alta frecuencia al reducir bruscamente las burbujas de vapor, los sólidos pueden deteriorarse.

Cetano	Sinónimo de n-hexadecano.
Ciclo	Secuencia de valores de una cantidad periódica durante un período completo. Secuencia de operaciones que tienen lugar en un motor de combustión interna llamadas: aspiración compresión, ignición y expulsión.
Ciclo de cuatro tiempos	Ciclo de un motor de pistón completado en cuatro tiempos, en el que se realizan dos revoluciones del cigüeñal llamado succión o aspiración, compresión, expansión o tiempo motor y expulsión
Coefficiente de viscosidad	Es la fuerza tangencial por unidad de superficie, necesaria para mantener la unidad de velocidad relativa entre dos planos paralelos, separados por la unidad
Deflagración	Combustión sin detonación.
Desaceleración	La razón de decremento de la velocidad de un vehículo o de una pieza móvil, lo opuesto a aceleración.
Desbaste	Quitar el exceso de materia en una operación de mecanizado.

Erosión

Desgaste mediante fuerza de rozamiento, incluyendo la acción de gases calientes de flujo rápido.

Estatismo

Todo motor posee una curva característica del par motor correspondiente a su carga máxima admisible. A cada velocidad corresponde un determinado par motor. Si se reduce la carga del motor sin modificar la posición de la palanca de mando, la velocidad de rotación no debe aumentar en el margen de regulación, más de la medida admisible determinada por el constructor de motor (p.ej. de N_v = velocidad de plena carga a n_1 = velocidad de ralenti). El aumento de la velocidad de rotación es proporcional a la variación de la carga, es decir, el aumento es tanto mayor cuanto más disminuye la carga. Se habla de estatismo y de reguladores de acción proporcional. El estatismo del regulador, en general, se refiere a la velocidad máxima de plena carga (= velocidad nominal) y se calcula de la manera siguiente:

$$\delta = \frac{n_{10} - n_{v0}}{n_{v0}} \quad \text{ó en \%:} \quad \delta = \frac{n_{10} - n_{v0}}{n_{v0}} \cdot 100\%$$

con

δ = Estatismo

n_{10} = Velocidad máxima de ralenti

n_{v0} = Velocidad máxima de plena carga

Escariador Herramienta con estrías espirales o longitudinales o dientes separados, provista de una espiga cónica o cilíndrica, que sirve para el acabado de agujeros taladrados. Esta puede ser maciza y encajada en un casquillo, hueca y encajada en un huesillo y puede ser de extremo cortante o de borde constante.

Espectrofotómetro

Instrumento que analiza el espectro del color.

Excéntrica

Mecanismo que convierte el movimiento giratorio de un cigüeñal en un movimiento rectilíneo alternativo, usado, principalmente, en alcances cortos.

Excentricidad de

marca atrás

La excéntrica que abre la válvula corredera para el suministro de vapor cuando se requiere que el motor vaya marcha atrás.

Fase

Dos cantidades alternativas se dice que están en "fase" cuando alcanzan sus valores máximos al mismo tiempo.

Fuga

El gas que se escapa del pistón de un motor durante el período de máxima presión.

- Fuerza centrífuga** La fuerza centrífuga en un cuerpo forzado a moverse alrededor de un recorrido curvo, se produce hacia fuera del centro de curvatura de dicho recorrido
- Inercia** Aquella propiedad de un cuerpo por la que éste tiende a mantener su estado de reposo o de movimiento uniforme rectilíneo. Esta se mide por la masa cuando se trata de velocidad o aceleraciones lineales, y, por los momentos de inercia cuando se trata de rotaciones alrededor de un eje.
- Manómetro de bourdon** Tubo de metal de sección ovalada y aplastada que puede ser doblado, cuyo extremo libre permanece cerrado a la presión mientras que en el extremo fijo permanece abierto.
- Marcha a pocas Revoluciones** La velocidad de giro lenta de un motor o pistón que tiene lugar cuando la mariposa está en posición de cierre.
- Marcha lenta** Hacer ajustes en el transcurso de etapas muy cortas.
- Potencia** Es el producto del caudal en peso por la energía.
- Retén** Fiador pivotado que está conectado mediante un borde o gancho a una rueda dentada con trinquete o a una cremallera o, generalmente, controlado con un resorte para:
1 evitar cualquier movimiento reversible; 2 convertir un

movimiento alternativo en un movimiento rotatorio intermitente o en un movimiento lineal; 3 adosarse a una placa giratoria; 4 evitar que el eje del cabrestante de una grúa se deslice cuando se cambien los engranajes.

Transmisión Término aplicado a varios métodos de transmisión y transformación de potencia por medio de un eje de transmisión, correas y poleas, y, engranajes.

Vernier Escala auxiliar móvil que se desliza en contacto con la escala principal de graduación, para emitir lecturas de una fracción de división de la escala principal.

Viscosidad Rozamiento interno debido a la cohesión molecular en un fluido. La resistencia al movimiento deslizante de capas adyacentes de un fluido en un movimiento.

INTRODUCCIÓN

Los motores de Diesel, dependiendo su aplicación, constan de diferentes sistemas, pero, un común denominador es el sistema de alimentación de combustible; en este trabajo se presentan los sistemas más comunes en el mercado, los cuales nos muestran los principios de diseño que serán los mismos en motores de cilindrada y potencias grandes como en pequeñas.

El sistema de alimentación inyecta el combustible y es la razón por la que se conoce como sistema de inyección, los motores Diesel pueden ser de dos y de cuatro tiempos, siendo ambos de cuatro ciclos. Su función es dosificar el volumen de combustible en la cantidad requerida, según la carga al volante del motor y en el momento exacto para obtener la potencia útil, reduciendo al máximo, las emisiones de gases, con lo cual se logra alcanzar la presión máxima sobre cada pistón, debido a la deflagración del Diesel. Este proceso ocurre en fracciones de segundo y es llevado a cabo por mecanismos accionados por el mismo motor, lo cual hace una dependencia mutua entre motor y sistema de inyección. La sincronización entre ambos debe ser lo más exacto posible ya que la velocidad del motor será gobernada por el sistema de inyección de Diesel.

Esta gobernación genera la particularidad que para cada aplicación se tengan diferentes diseños. A través de los años cada fabricante ha buscado el mejor diseño de sistema de inyección para el motor que éste fábrica, razón por la cual se encuentran diferentes diseños. El propósito de este trabajo es mostrar los diferentes diseños de diferentes fabricantes para que el lector

encuentre las similitudes y en el trabajo de campo logre distinguir los elementos que los manuales de servicio mencionan y encontrar la falla de los mismos, así como los puntos de calibración.

El seccionamiento de los equipos es el apoyo didáctico que soporta al trabajo escrito, y observar en corte lo que es difícil de percibir cuando el equipo está ensamblado y trabajando.

Los sistemas seccionados son, en general, los más utilizados en el mercado guatemalteco, en la mayoría de aplicaciones.

1. EL MOTOR DIESEL, DISEÑOS RECIENTES

1.1 Historia del motor Diesel

El año de 1895, Rudolf Diesel presentó su invento al público, un motor de encendido por compresión que poseía, respecto del ya consagrado motor Otto, las ventajas de que consumía menos combustible, funcionaba con carburante relativamente más barato y, por último, estaba diseñado para potencias mucho mayores.

El invento Diesel se impuso con rapidez y en poco tiempo se convirtió en la alternativa ideal para motores navales y estacionarios. En contra, el motor Diesel tenía un gran inconveniente: el no alcanzar regímenes elevados. Pero, a medida que se iba difundiendo, gracias a su popularidad, el sistema Diesel, mayores iban siendo las exigencias para que se diseñase un motor de autoencendido y rápido. El principal impedimento para que el motor Diesel alcanzase un régimen elevado lo presentaba la alimentación de combustible. El procedimiento de soplado utilizado hasta entonces, mediante el cual se insuflaba el combustible con aire comprimido a la cámara de combustión, no permitía el correspondiente aumento de régimen. Además la bomba de aire requería una construcción complicada, lo que impedía reducir el tamaño y el peso del conjunto.

A finales de 1922, Roberto Bosch decidió dedicar sus esfuerzos a desarrollar un sistema de inyección para motores Diesel. Las condiciones técnicas eran favorables, pues, la experiencia con motores de combustión era

ya considerable. Además, las técnicas de fabricación estaban muy desarrolladas y, sobre todo, podía aplicarse el caudal de conocimientos sobre fabricación de bombas de lubricación que se había ido acumulando.

A principios de 1923 se disponía de una docena, más o menos, de proyectos distintos para bombas de inyección y, a mediados de dicho año, se efectuaron los primeros experimentos con motor.

En 1925 ya estaba en marcha el proyecto definitivo respecto del tipo de construcción de la bomba de inyección, y, en 1927 salieron de fábrica las primeras unidades fabricadas en serie.

Esta bomba de inyección desarrollada por Bosch permitió, finalmente, que el motor de Rudolf Diesel alcanzase los elevados regímenes necesarios, asegurándole, así, un lanzamiento cuyas consecuencias eran difíciles de prever. El motor Diesel fue conquistando, paulatinamente, campos de aplicación más amplios, sobre todo, en sectores vehiculares, industriales y marítimos.

Por su parte, la tecnología inglesa y norteamericana avanzaban más lentamente en el diseño de sus sistemas de alimentación. En la actualidad se ha llegado a fusionar el funcionamiento mecánico del principio de los sistemas con la electrónica, lo que en la actualidad ha tenido una repercusión en el aumento de la eficiencia de estos motores.

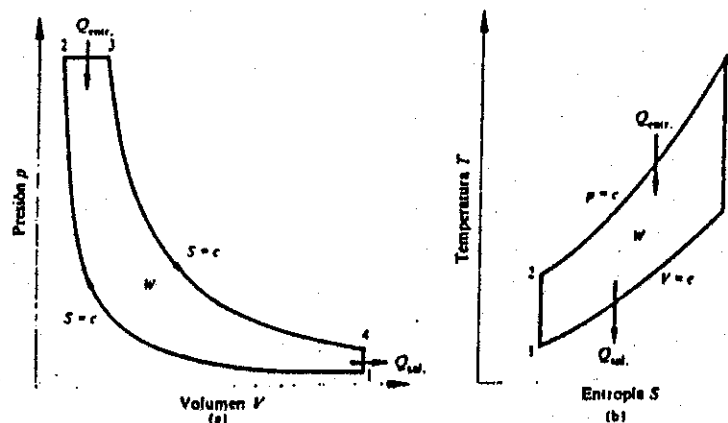
1.2 Ciclo de potencia Diesel

El ciclo Diesel desarrollado por Rudolf Diesel, se caracteriza por la adición de calor a presión constante, la cesión de calor a volumen constante, así como por los procesos isoentrópicos de compresión y expansión. Esta máquina es del tipo de ignición por compresión; es decir, el aire es comprimido hasta una presión elevada y entonces se inyecta combustible a la cámara de combustión. La ignición ocurre por la elevada temperatura del aire y la combustión se realiza a presión constante. El émbolo se desplaza por la expansión isoentrópica de los gases hasta el punto muerto inferior y, a partir de ahí, cede calor a volumen constante.

Los procesos de ciclo Diesel estándar de aire son los siguientes:

1. partiendo del émbolo desde el punto muerto inferior, se produce compresión isentrópicamente del estado 1 al estado 2;

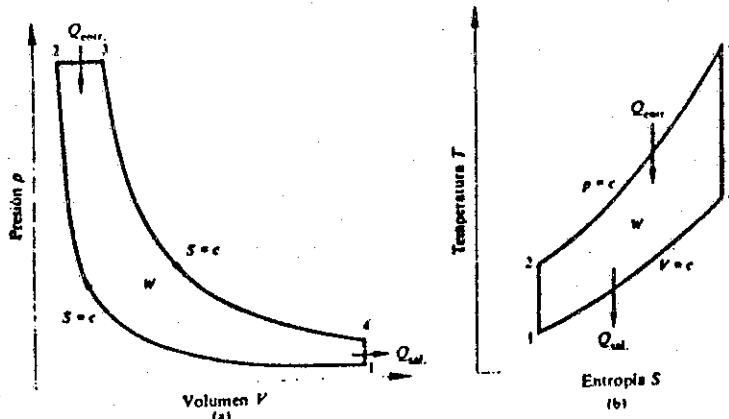
Figura 1. (a) Diagrama p-V para un ciclo Diesel estándar de aire. (b) Diagrama T-S correspondiente al ciclo anterior.



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos. Editorial Harla. 1982

2. se proporciona calor a presión constante desde 2 hasta 3;

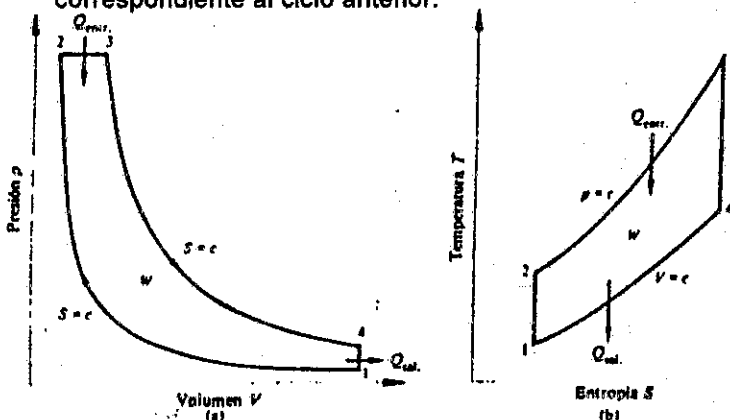
Figura 2. (a) Diagrama p-V para un ciclo Diesel estándar de aire. (b) Diagrama T-S correspondiente al ciclo anterior.



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos. Editorial Harla. 1982

3. se lleva a cabo isoentrópicamente la expansión de 3 a 4;

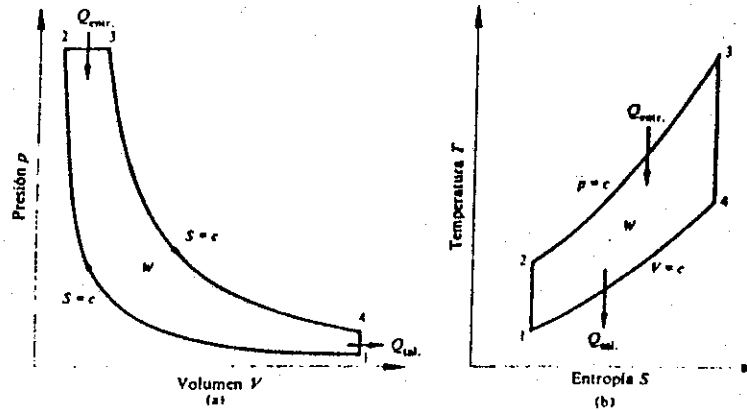
Figura 3. (a) Diagrama p-V para un ciclo Diesel estándar de aire. (b) Diagrama T-S correspondiente al ciclo anterior.



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos. Editorial Harla. 1982

4. se produce cesión de calor a volumen constante de 4 a 1.

Figura 4. (a) Diagrama p-V para un ciclo Diesel estándar de aire. (b) Diagrama T-S correspondiente al ciclo anterior.



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos. Editorial Harla. 1982

1.3 Ciclo de potencia Diesel real

El proceso de combustión según el cual trabaja el motor diesel se diferencia en puntos esenciales del proceso para motores Otto (gasolina).

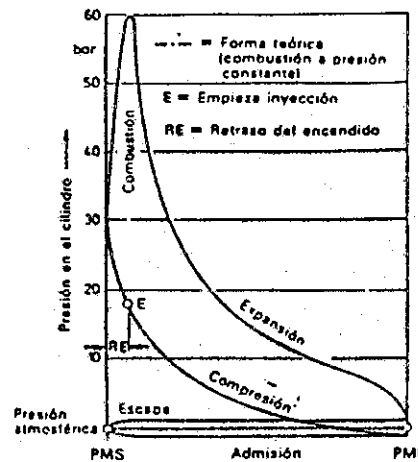
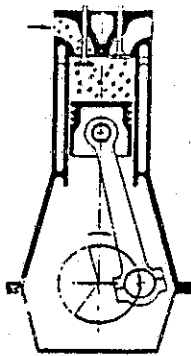
- En el motor Diesel se aspira, únicamente, aire que se comprime fuertemente.
- El aire, fuertemente comprimido, está tan caliente que el combustible que se le inyecta se inflama, espontáneamente: el motor Diesel trabaja, por tanto, mediante autoencendido.

- La mezcla de combustible aire se forma, únicamente, en la cámara de combustión: el motor Diesel trabaja, pues, con formación interna de mezcla.
- En el motor Diesel se emplean, generalmente, combustibles de vaporización difícil.

Los cuatro tiempos de ciclo de trabajo son:

1er. Tiempo - Admisión: en la carrera descendente del pistón a través de la válvula de admisión abierta se aspira aire fresco filtrado. El aire toma calor de las válvulas del pistón y de las paredes del cilindro. El motor Diesel trabaja siempre con exceso de aire, para que en el breve período de la inyección, que no permite nada más que una mezcla insuficiente entre combustible y aire, se produzca, sin embargo, una combustión completa, exenta de humos.

Figura 5. Procedimiento Diesel; trabajo de cuatro tiempos



Procedimiento Diesel; trabajo de cuatro tiempos.

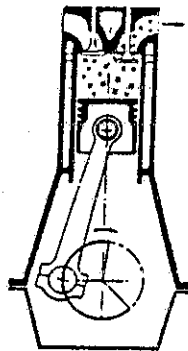
Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos. Editorial Harla. 1982

2do. Tiempo - Compresión: con las válvulas cerradas, el pistón, en su carrera ascendente, comprime el aire aspirado. La relación de compresión está entre 14 y 22. Por medio de esta elevada compresión que llega a presiones de unos 30 a 55 bar, el aire alcanza temperaturas entre 700 y 900 grados centígrados. Hacia el final del período de compresión, 20 a 30 grados antes del punto muerto superior, se inyecta el combustible Diesel finamente pulverizado. Entre el comienzo de impulsión del combustible por la bomba de inyección y el comienzo efectivo de la inyección en la tobera de inyección transcurre un breve período que se denomina retraso de la inyección, que suele indicarse en grados de giro del cigüeñal. La inyección en el motor Diesel se efectúa, de tal modo, que la cantidad principal de combustible no llega al cilindro hasta que ya se han inflamado, ahí, las primeras partículas de combustible. El tiempo que transcurre desde el momento de la inyección hasta el autoencendido se denomina retraso del encendido. Este retraso es normalmente de 0.0001 segundo, aproximadamente. Se reduce si la pulverización del combustible es muy fina y si el combustible tiene mayor tendencia de autoencendido. La medida de la tendencia de autoencendido del combustible es el número de cetano.

El cetano es un hidrocarburo muy inflamable al que se le ha asignado el número de cetano 100, mientras que el combustible hidrocarburo metilnaftalina, que es muy reacio a la inflamación, recibe el número de cetano 0. Mezclando ambos hidrocarburos pueden obtenerse todos los números de cetano de 0 a 100. El índice de cetano es mayor en cuanto mayor es la tendencia del combustible a autoencenderse. Si el retraso de la ignición es demasiado grande, por ejemplo con el motor frío, el comienzo de la inyección mal ajustado o el combustible poco resistente al autoencendido, se produce un perjudicial

pistoneo de los motores Diesel. Este pistoneo se produce por causa de la combustión brusca del combustible acumulado.

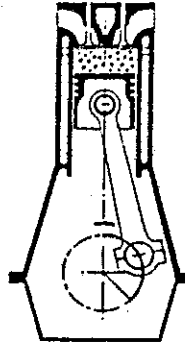
Figura 6. Procedimiento Diesel; trabajo de cuatro tiempos



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos. Editorial Harla. 1982

3er. Tiempo - Expansión: el combustible inyectado al final de la compresión se vaporiza a la alta temperatura reinante y se mezcla con el aire caliente. La mezcla se inflama, espontáneamente, la presión de combustión, que en este tiempo es máxima, impulsa el pistón hacia abajo.

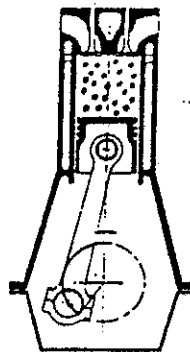
Figura 7. Procedimiento Diesel; trabajo de cuatro tiempos



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos, 1982. Editorial Harla.

4to. Tiempo - Escape: a través de la válvula de escape abierta, los gases quemados salen del cilindro, a causa de la presión todavía existente y son empujados por el pistón hacia el escape.

Figura 8. Procedimiento Diesel; trabajo de cuatro tiempos



Fuente: Ingeniería Termodinámica. M. David Burghart. 2a. Edición. Estados Unidos, 1982. Editorial Harla.

1.4 Componentes de un motor Diesel de diseño moderno

1.4.1 Block

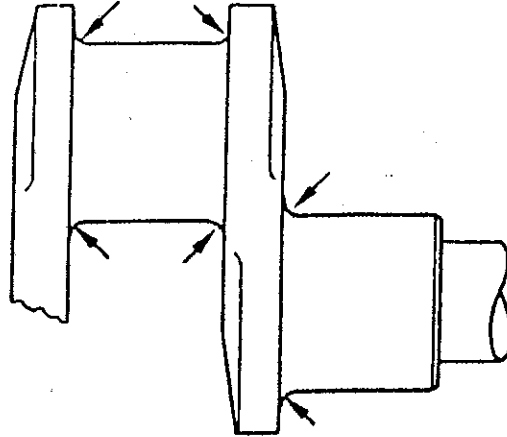
En los motores Diesel, el block del motor puede tener tres tipos de camisas: las enfriadas por agua, que pueden ser secas y húmedas; y, las enfriadas por aire. Los bloques han cambiado su diseño y se han iniciado a fabricar de dos partes, siendo su aplicación en motores vehiculares con la finalidad de disminuir el factor peso por unidad de potencia.

Hay que distinguir que los motores de servicio liviano utilizan bloques de motor de una sola pieza y que los motores de servicio pesado utilizan camisas húmedas; esto es para prolongar la vida útil del block del motor.

1.4.2 Cigüeñal

Los cigüeñales para motores Diesel se caracterizan por tener un muñón de bancada por un muñón de biela, por los altos torques a los que es sometido. La medición de durezas para la reutilización es básica. En algunas aplicaciones especiales se ha dividido el muñón de biela de la forma que indica en la figura 9, para compensar el ángulo de motores dispuestos en V. El radio acuerdo es muy importante, ya que la concentración de esfuerzos, en este punto es crítica.

Figura 9. Se forma un radio o filete entre los muñones y el alma

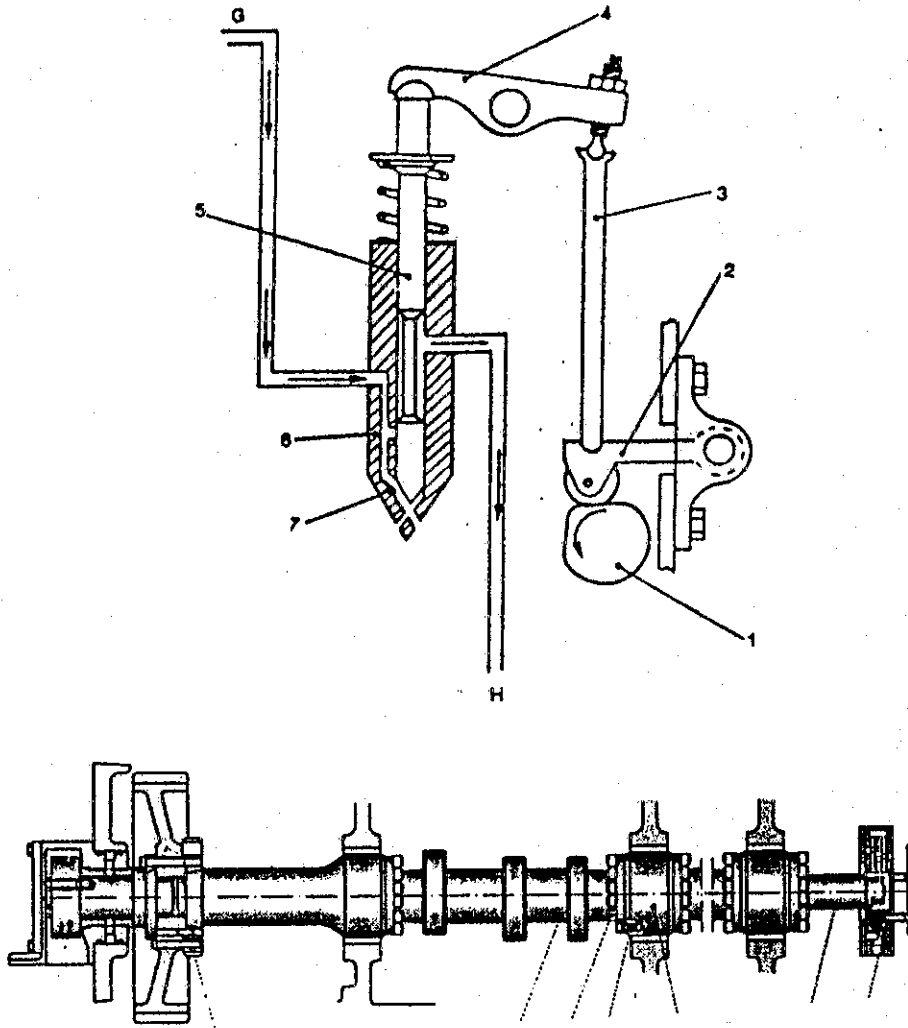


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.3 Eje de levas

El eje de levas en el motor Diesel, a diferencia de un eje de levas de un motor de gasolina, está acoplado por tren de engranajes a la bomba de inyección, al cigüeñal y si está dotado el motor, a los ejes balanceadores. El diseño del eje puede tener también una leva que accione los inyectores, en el caso de la inyección por inyectores bomba como se muestra en la figura. En algunos casos, ajustes en los mismos no pueden dar tiempo de inyección o el avance del mismo.

Figura 10. Inyector y mecanismo de accionamiento simplificado: G combustible de la válvula de paro, H retorno de combustible al tanque, 1 leva, 2 seguidor, 3 varilla de empuje, 4 balancín, 5 émbolo, 6 barril, 7 copa del inyector.

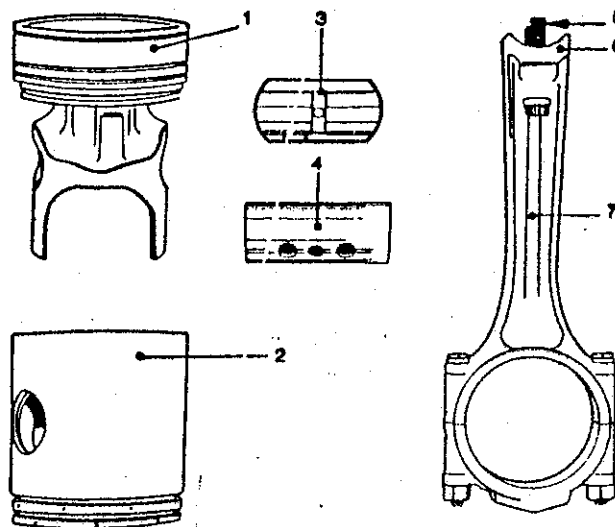


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
 Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.4 Pistones

Los pistones en los motores Diesel se fabrican, también, de aleaciones de silicio, aluminio y manganeso. Las exigencias de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) ha establecido que los índices de contaminación de los motores Diesel debe disminuir: los motores Diesel almacenan en la parte de la cabeza del pistón y la superficie del primer anillo, hollín, el cual es el principal contaminante de los motores Diesel, razón por la cual los fabricantes han elevado la altura del primer anillo de compresión, para disminuir el acumulamiento de hollín en esta superficie y elevar la temperatura para quemar este carbón. Este cambio en el diseño ha causado un aumento de la temperatura en la cámara de combustión, por lo cual se comenzaron a derretir los pistones. La solución a esto dio como resultado el diseño de pistones de dos partes, la superior de acero y la falda de aleación de aluminio como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Pistones

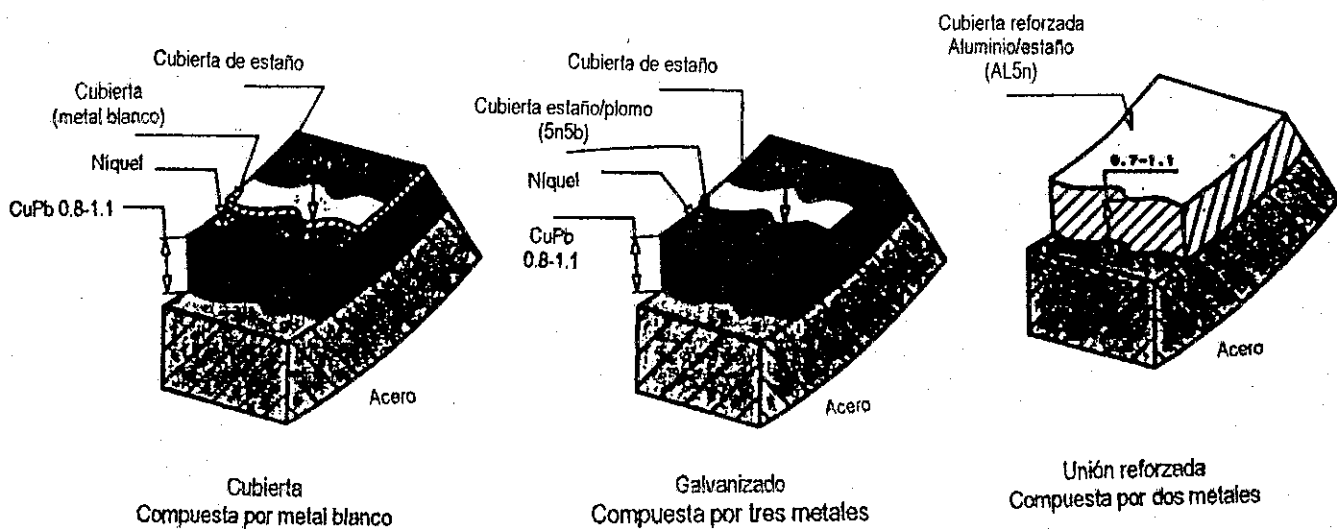


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.5 Cojinetes de fricción

El diseño de estos componentes en los motores Diesel ha cambiado de capa exterior de babbitt al uso de cojinetes de espaldón de acero, luego, una capa de aluminio que se une a través de una capa de cobre como pegamento o unión con una capa de estaño-plomo y, finalmente, un baño de plomo, elementos a través de los cuales se puede definir el estado de desgaste de los cojinetes.

Figura 12: Cojinetes de fricción



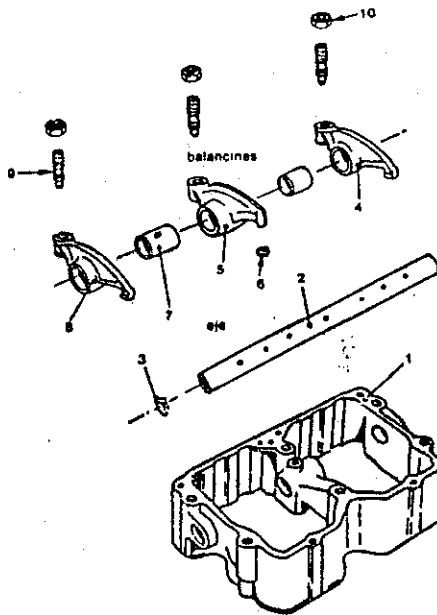
Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.6 Culata

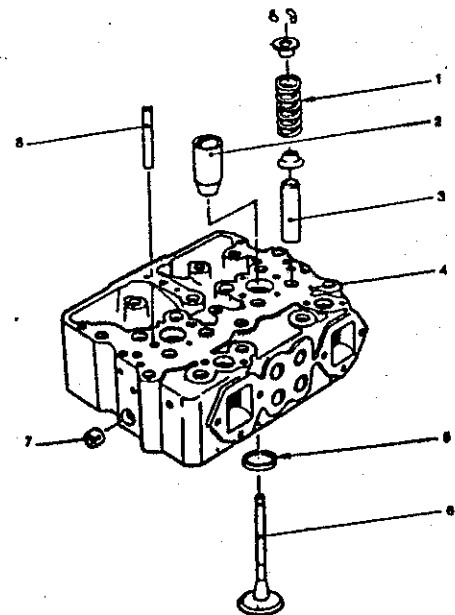
Las culatas no han sufrido modificaciones significativas, pero en comparación con las culatas de un motor de gasolina, se utilizan culatas individuales por cilindro o grupos de cilindros para evitar torceduras en

superficies grandes que pueden estar sometidas a mayor deformación, la facilidad de servicio y movimiento de componentes en motores de cilindradas grandes.

Figura 13. Culata



Conjunto de balancines. Se ilustran los tres balancines para un cilindro de un motor con inyectores PT. La cubierta, que aloja los balancines para dos cilindros está montada en la parte superior de la culata de cilindros de la figura 5.2: 1 cubierta, 2 eje, 3 tapón de la cubierta, 4 balancín de escape, 5 balancín de inyector, 6 campana, 7 buje, 8 balancín de admisión, 9 tornillo de ajuste, 10 contratuerca.



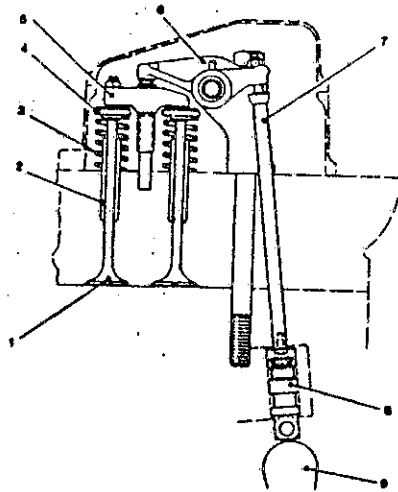
Una de las culatas de un motor de seis cilindros; cada culata cubre dos cilindros: 1 resorte de válvula, 2 manguito (camisa) de inyector, 3 guía de válvula, 4 culata, 5 inserto de asiento de válvula, 6 válvula, 7 tapón, 8 guía de la cruceta.

Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.7 Válvulas

En lo concerniente a válvulas, la tecnología multivalvular o el uso de cuatro válvulas por cilindro, es mucho más antiguo que en los motores de gasolina ya que el rendimiento volumétrico para estos motores debe ser alto.

Figura 14: Válvulas



Componentes del mecanismo de válvulas con cruceta. Los vástagos de las válvulas tienen rotores positivos: 1 válvula de admisión, 2 guía de válvula, 3 resorte de válvula, 4 rotor de válvula, 5 cruceta de válvula, 6 balancín, 7 varilla de empuje, 8 seguidor, 9 árbol de levas

Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.

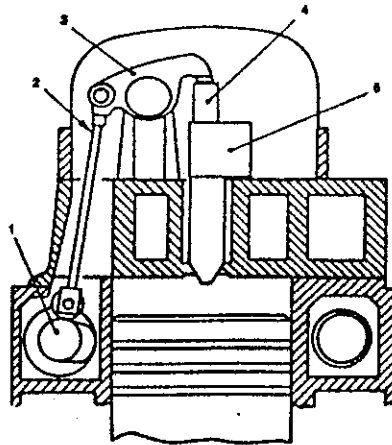
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.8 Eje de balancines

El eje de balancines en los motores Diesel se modifica en motores que utilizan culatas individuales y en éstos se puede encontrar, en las aplicaciones de motores con inyectores bomba, un balancín que accione también un

inyector. Un solo balancín puede accionar dos válvulas por medio del mecanismo que se muestra en la figura 15.

Figura 15. Eje de balancines



Instalación del inyector unitario en el motor: 1 árbol de levas, 2 varilla de empuje, 3 balancín, 4 impulsor del inyector, 5 inyector.

Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.

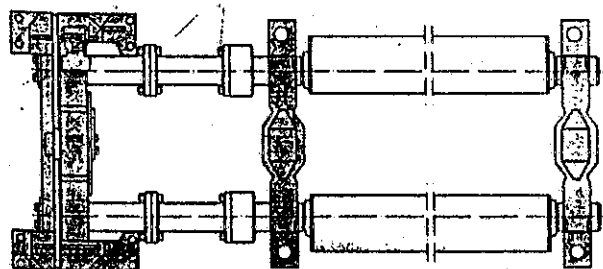
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.9 Ejes balanceadores.

Los ejes balanceadores cumplen la función de amortiguar la vibración en los motores y que no se tengan mayores problemas al llegar a la velocidad crítica del motor. Suelen encontrarse comúnmente, en motores de cuatro cilindros ya que éstos son los más inestables, no siendo la excepción en motores de mayor número de cilindros y disposiciones en V. El cuidado en estos componentes debe ser el montaje de los mismos, los cuales por diseño

poseen marcas y llevan posición específica en el tren de engranaje frontal y acoplados al eje cigüeñal del motor.

Figura 16. Ejes balanceadores

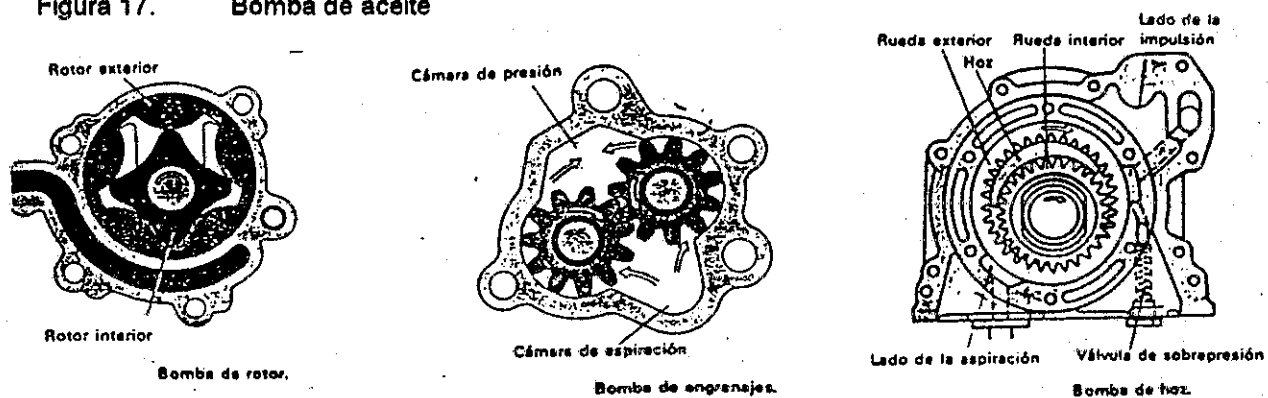


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.10 Bomba de aceite.

La bomba de aceite en los motores Diesel suele ser de tres tipos: de engranajes, de rotor y del tipo hoz, o, de diferencia de dos o tres dientes.

Figura 17. Bomba de aceite

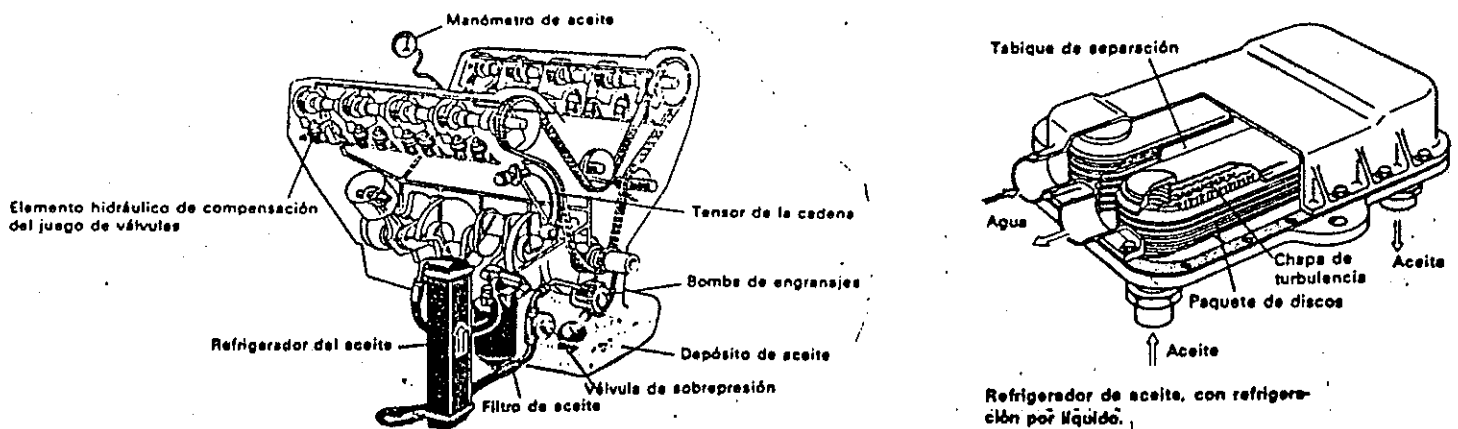


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.11 Intercambiadores de calor (enfriadores de aceite y postenfriadores)

Las temperaturas causadas por la deflagración del Diesel dentro de la cámara de combustión, son elevadas; la transferencia de calor a los componentes es alta; a causa de esto se hace necesario enfriar el aceite para mantener la viscosidad. Se utilizan intercambiadores de calor en contraflujo, haciendo circular el agua de enfriamiento que proviene del tanque inferior de radiador y haciéndola pasar por el intercambiador, el aceite pasa también al intercambiador, transfiriendo el calor al agua de enfriamiento.

Figura 18. Intercambiadores de calor (enfriadores de aceite)

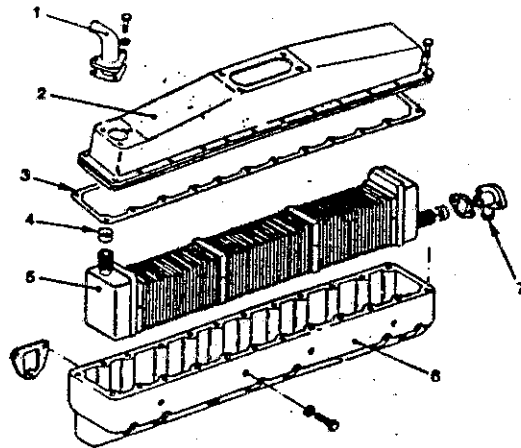


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

Los postenfriadores se utilizan en los motores turboalimentados y al utilizar este tipo de intercambiador de calor se conocen como motores turboalimentados postenfriados. El objetivo principal es el de enfriar el aire que ha sufrido un cambio de temperatura al pasar por el compresor de

turbocompresor. El intercambio de agua en los postenfriadores puede ser de aire y aire, agua y agua, agua y aire.

Figura 19. Intercambiadores de calor (postenfriadores)



Componentes del postenfriador: 1 salida de líquido enfriador, 2 tapa, 3 junta, 4 sello anular, 5 núcleo, 6 cubierta, 7 entrada de líquido enfriador

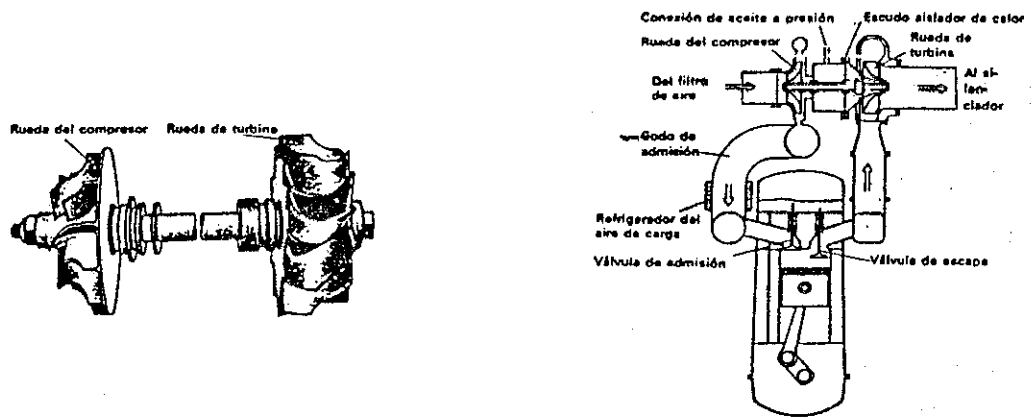
Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.12 Turbocompresor.

Los turbocompresores son utilizados en el motor Diesel para aumentar el rendimiento volumétrico.

En la actualidad se utilizan en los turbos de válvula de desecho (waste gate) que aumenta el rendimiento del turbo. Por medio de esta válvula se deriva el flujo y se logra que el turbo no eleve sus revoluciones más de lo necesario, esto aumenta la vida útil del mismo.

Figura 20. Turbocompresor

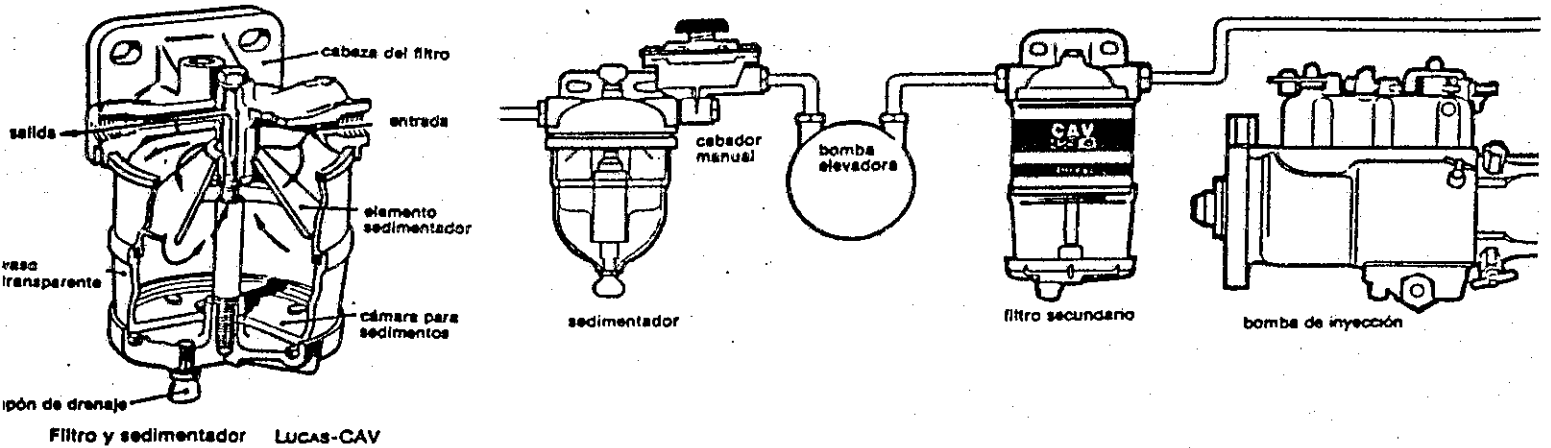


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.13 Trampas de agua.

El combustible Diesel adquiere en su transporte y almacenamiento en tanques, suciedad y agua, razón por la cual se necesita aislarla del mismo. Se utilizan trampas de agua que trabajan por diferencia de densidades; el agua se almacenará en la parte inferior de la trampa y será drenada por el operador con la frecuencia que se sature; también se utilizan del tipo filtro, que trabaja con el mismo principio, con la diferencia de que no posee una llave de drene. El agua en el sistema de combustible es muy perjudicial ya que de llegar a la bomba puede producir oxidación y picaduras en los elementos internos.

Figura 21. Trampas de agua

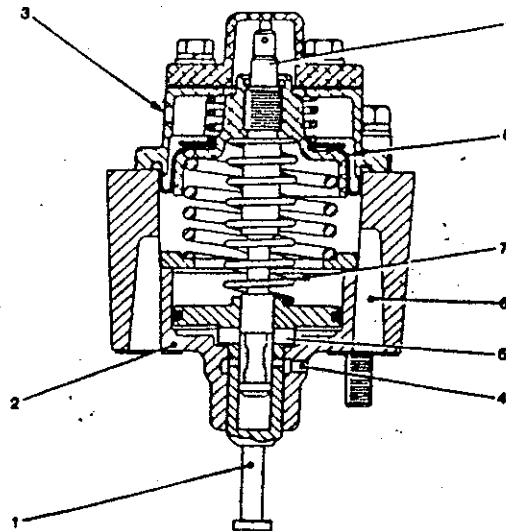


Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.4.14. Válvulas de relación aire combustible.

El propósito de estas válvulas es tener el parámetro de la presión en el manifold de admisión y modificar con base en esto, la entrega de combustible que dosificará la bomba de Diesel. Se le conoce también como aneroide o compensador de altura.

Figura 22. Válvulas de relación aire combustible



Control de relación aire-combustible: 1 válvula, 2 entrada de aceite, 3 conducto de entrada de aire, 4 salida del aceite, 5 conducto grande para el aceite, 6 descarga de aceite, 7 resorte, 8 diafragma, 9 válvula.

Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besanté y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

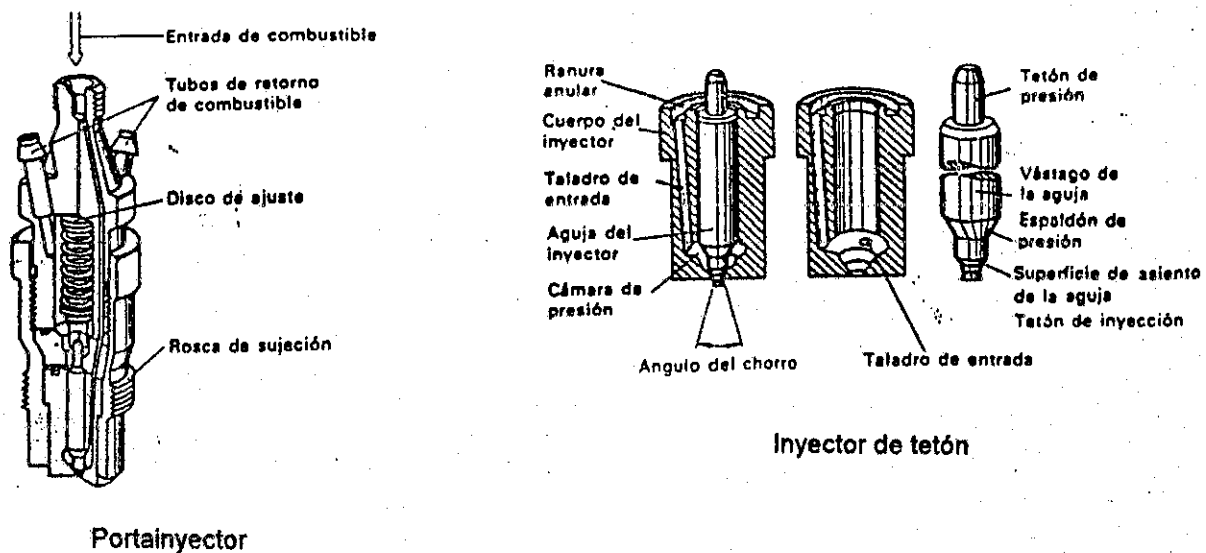
1.4.15 Inyectores

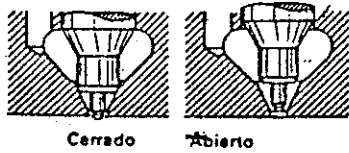
El inyector debe inyectar el combustible que llega a alta presión de la bomba de inyección, en la cámara de combustión, del modo que sea más conveniente para el procedimiento de combustión del motor Diesel que se trate. Esto quiere decir que habrá que elegir, cuidadosamente, el inyector con relación con la duración de la inyección y su presión, así como la forma de chorro inyectado o ángulo de chorro. La formación de mezcla en la cámara de combustión y con ello el desarrollo de la combustión, se logra de modo decisivo por medio del inyector.

Hay que distinguir dos tipos principales, el inyector de tetón y el inyector de orificios. Según la cantidad de combustible impulsada por carrera del émbolo de inyección se utilizan distintos tamaños de inyectores.

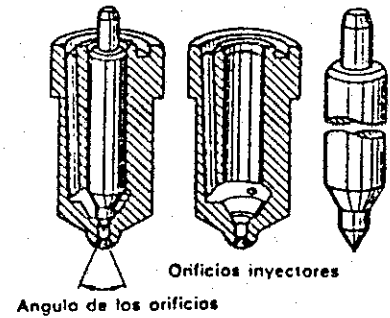
El cuerpo del inyector y la aguja son de acero de alta calidad y están lapeados. Por esta razón sólo pueden cambiarse conjuntamente. El combustible procedente de la tubería de presión llega al orificio de entrada del portainyector. De ahí pasa a la ranura anular, los orificios de entrada y a la cámara de presión de inyector. Si la presión del combustible es mayor que la tensión del resorte de presión del portainyector, la aguja se levanta de su asiento por efecto de la presión sobre su espaldón de presión y se inyecta el combustible en la cámara de combustión. Esto ocurre en la carrera de impulsión de la bomba de inyección. Una vez terminada la inyección, la fuerza del resorte empuja la aguja de inyección por medio del vástago de presión.

Figura 23. Inyectores





Inyector de tetón con extremo cilíndrico de la espiga de inyección



Inyector de orificios

Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.5 Sistemas del motor Diesel

1.5.1. Enfriamiento.

Los fabricantes de motores Diesel han aumentado las temperaturas de operación del motor para mejorar la eficiencia del mismo. Esto quiere decir que el mantenimiento apropiado del sistema de enfriamiento es, particularmente, importante. El recalentamiento, el enfriamiento excesivo, las picaduras, la erosión por cavitación, las culatas rajadas, el atascamiento de pistones y el taponamiento del radiador son síntomas típicos de fallas del sistema de enfriamiento.

Durante la operación todos los motores de combustión interna generan calor. Este calor se genera a causa de la combustión del Diesel. Sin embargo, sólo un 33% de este calor total se convierte en potencial útil para el cigüeñal. Aproximadamente, un 30% se descarga con el gas de escape, mientras otro 7% pasa, directamente, de la superficie del motor a la atmósfera. El 30% restante lo disipa el sistema de enfriamiento.

Además de disipar el calor generado por la combustión, en algunas aplicaciones, el sistema de enfriamiento disipa el calor de varias otras fuentes. Otros componentes que transfieren calor al refrigerante son: enfriadores de aceite de una transmisión, enfriadores de aceite de un sistema hidráulico, postenfriadores, cajas y protectores de turbocargadores enfriados por agua, etc.

Hay muchos tipos de diferentes sistemas de enfriamiento, la mayoría de ellos disipan el calor mediante el uso de un radiador; otros tipos usan un enfriador de quilla, un mazo de tubos o torretas de enfriamiento para sacar el calor. En la mayoría de sistemas de enfriamiento, sin embargo, los componentes básicos son: radiador, ventilador, refrigerante, bomba de agua, enfriador de aceite del motor y regulador de temperatura del agua.

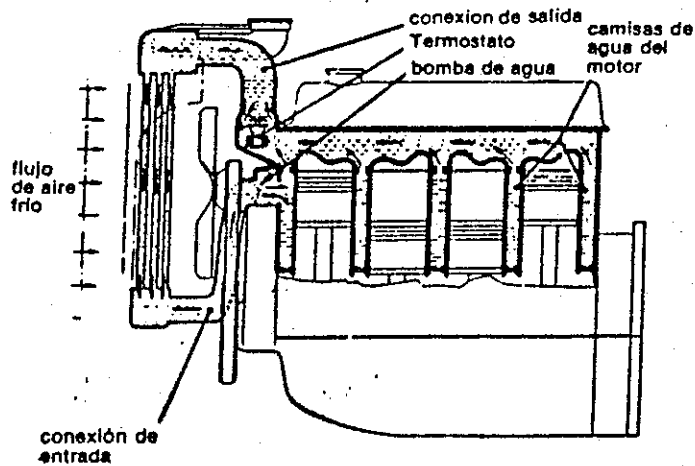
Un sistema de enfriamiento típico funciona de la siguiente manera: dirige el flujo del refrigerante por el motor y por otros componentes para absorber el calor y, luego, dirige el refrigerante calentado al radiador en donde se enfría. El flujo del refrigerante comienza en la bomba de agua y pasa después al motor y a otros componentes.

Primero, el refrigerante fluye por el enfriador de aceite del motor y, luego, se dirige al bloque motor; después pasa por el bloque motor a la culata de cilindros y, luego, al radiador. Finalmente, el refrigerante completa su ciclo cuando alcanza la bomba de agua, donde comienza el ciclo de nuevo.

Durante la operación normal, el ventilador expulsa o aspira el aire a través de las aletas del radiador y alrededor de los tubos que se extienden

desde la parte superior a la inferior del mismo o de un lado al otro en el caso del flujo transversal. El flujo de expulsión es comúnmente usado en motores estacionarios y el flujo de aspiración del ventilador en las aplicaciones vehiculares. Cuando el motor está frío, los reguladores de temperatura impiden el paso de refrigerante al radiador. Cuando se abre el regulador el porcentaje de refrigerante que pasa al radiador dependen de la carga del motor y de la temperatura ambiente, así como también del desempeño del radiador. Cuando el refrigerante caliente fluye por los tubos del radiador, el movimiento del aire a través de los tubos y aletas reduce la temperatura del refrigerante.

Figura 24. Enfriamiento



Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.5.2. Lubricación.

La función principal de la lubricación es reducir, por aplicación de un aceite lubricante, el rozamiento entre las piezas del motor que deslizan unas sobre las otras. Además de esto, el aceite tiene la misión de refrigerar las partes del motor que no pueden ceder su calor directamente al líquido refrigerante o al aire de refrigeración. Por otra parte, contribuye a la estanqueidad de las piezas deslizantes.

Del depósito de aceite se manda éste, mediante una bomba, habitualmente, a través de filtros, a los numerosos puntos del motor que hay que lubricar, a cuyo efecto existe una válvula de sobrepresión o válvula de seguridad que impide, especialmente, en caso de arranques en frío, cuando se utiliza aceite monogrado, que se produzcan subidas peligrosas de presión.

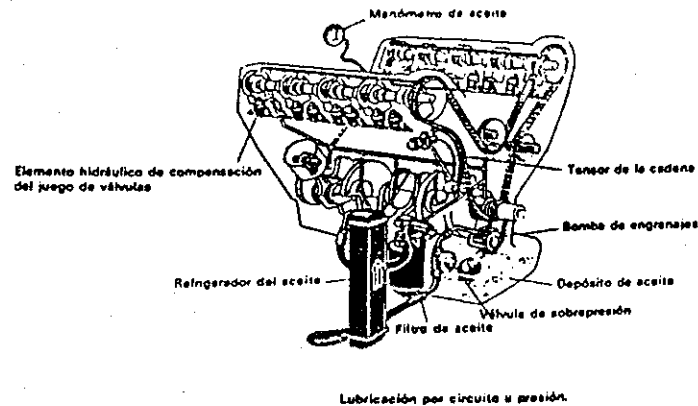
El aceite lubricante en el motor está sometido a sollicitaciones térmicas extraordinariamente elevadas, principalmente, en los cojinetes del cigüeñal, como se muestra en la figura 25.

La mayoría de los combustibles Diesel contienen azufre en algún grado. El contenido de azufre depende de la cantidad de azufre existente en el petróleo crudo con el que se produjo el combustible y la aptitud en las refinerías de poder disminuir dicho contenido.

Una de las funciones del aceite lubricante es neutralizar los subproductos del azufre, es decir, los ácidos sulfurosos y sulfúricos, para, así, dilatar los efectos de la corrosión en el motor. Los aditivos del aceite contienen

compuestos alcalinos para neutralizar dichos ácidos, la medida de esta reserva de alcalinidad del aceite se conoce como Número de Base Total (TBN) muy importante en la lubricación en motores Diesel.

Figura 25. Lubricación



Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera. Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

1.5.3. Alimentación de combustible.

El sistema de alimentación de combustible tiene la misión de inyectar el combustible en la cámara de combustión en el instante preciso, en cantidad perfectamente determinada de acuerdo con el régimen de carga, en la forma adecuada al procedimiento de combustión de cada caso y durante un espacio de tiempo exactamente fijado. Pertenecen al sistema de alimentación de combustible los siguientes elementos: bomba de combustible, filtro de combustible, bomba de inyección con regulador y variador de avance, así como portainyector e inyector. El combustible es aspirado del depósito por la bomba de combustible. La bomba lo impulsa a través de un filtro de combustible a la

cámara de aspiración de la bomba inyectora. La bomba inyectora impele el combustible a través de los inyectores que lo proyectan en las cámaras de combustión de los distintos cilindros.

La bomba de combustible que casi siempre está construida a modo de bomba de émbolo, tiene la misión de conducir el combustible a la bomba inyectora a una presión, aproximadamente, de 1 bar. La bomba de combustible puede ir embridada a la bomba inyectora. Es accionada por una excéntrica del árbol de levas de la bomba de inyección, por el eje de levas del motor o internamente en la bomba.

El filtro de combustible sirve para evitar que las impurezas del combustible lleguen a la bomba de inyección y a los inyectores. El combustible comercial para motores Diesel contiene ya impurezas como el polvo mineral, pero, además, al llenar el depósito e, incluso, en el mismo depósito, puede adquirir más impurezas. Como la bomba de inyección y los inyectores han sido fabricados con la máxima precisión, los cuerpos extraños que pudiera contener el combustible, por pequeños que fueran, producirían en tiempos relativamente cortos serios desgastes que podrían inutilizarlos. Es, por lo tanto, importante mantener el filtro de combustible siempre en orden, que verse obligado a reemplazar los costosos elementos de la bomba y los inyectores.

Según su constitución, se distinguen los siguientes tipos de filtro para combustible: filtro sencillo, filtro escalonado y filtro paralelo. Además de los filtros de elemento filtrante recambiable, se utilizan también los de cartucho. Como elemento filtrante se emplea, principalmente, el papel. Este puede fabricarse sin dificultad con el tamaño de poro y la distribución de poros

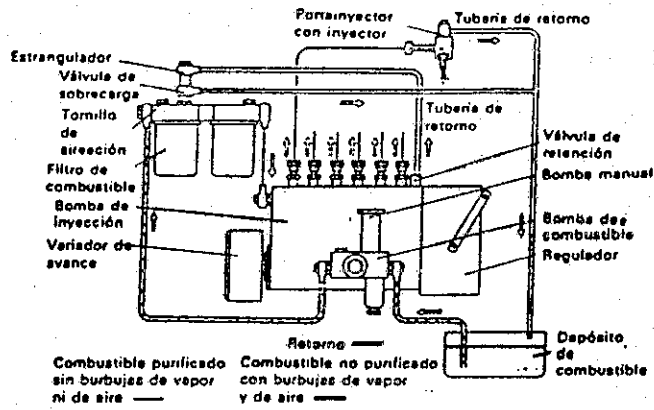
deseados para cada caso. La gran superficie del filtro de papel, que hace posible una larga utilización del filtro, se obtiene mediante un adecuado plegado del papel filtro. Se distinguen según la disposición adoptada para el papel filtro entre los elementos filtrantes de arrollamiento y elementos filtrantes de estrella.

En el caso de elementos filtrantes de arrollamiento, el papel de filtro se enrolla alrededor de un tubo. Cada tira de papel va pegada por arriba con la inmediata interior, de modo que resultan bolsas abiertas por arriba. El combustible atraviesa el filtro de arriba hacia abajo, de modo que las partículas de suciedad quedan detenidas en las bolsas en forma en V. El combustible limpio fluye, entonces, por el tubo del centro hacia arriba.

En el elemento en forma de estrella, el papel plegado de ese modo se dispone alrededor de un tubo agujereado. Los pliegues de papel están cerrados arriba y abajo por medio de tapas en forma de disco. El combustible atraviesa el filtro de afuera hacia adentro de modo que las partículas de suciedad quedan detenidas en la superficie del filtro o caen hacia abajo. El combustible filtrado fluye por los agujeros del tubo hacia adentro y después hacia arriba.

Los filtros simples para combustible, contruidos como filtros de cartucho, están formados por la tapa del filtro con orificios roscados para la entrada y la salida del combustible y por el cartucho filtrante enroscado a la tapa. Para eliminar el agua que pudiera haber llegado al depósito de combustible por la falta de cuidado al llenarlo, el agua recogida se deja salir destornillando el purgador de agua.

Figura 26. Alimentación de combustible



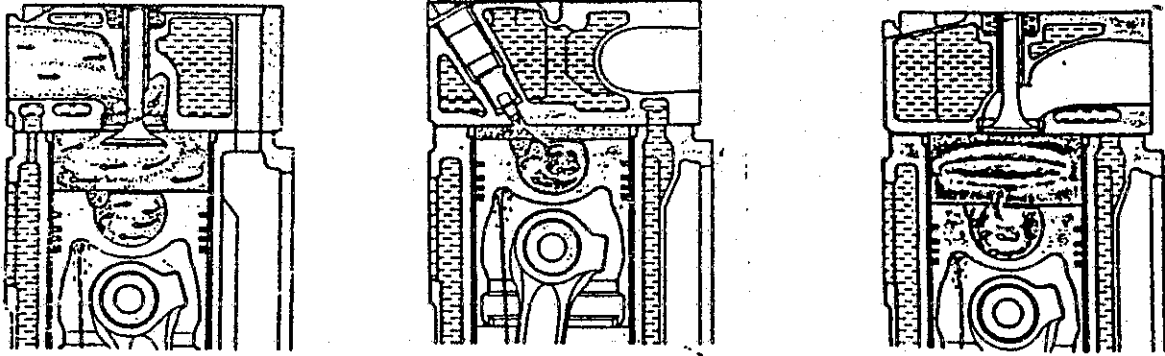
Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL

2.1 Cámara de combustión con inyección directa

En el caso de la inyección directa, la cámara de combustión tiene la forma más sencilla. Con el objeto de conseguir la mínima cesión de calor posible se ha hecho su superficie tan pequeña como se ha podido y se ha dispuesto en el pistón. La formación de la mezcla depende, en gran parte, de la clase y del estado del inyector. En el caso de una presión de inyección de 175 a 200 bar, se obtiene un reparto del combustible con empleo de inyectores de tetón o de orificios. Condición previa es siempre un combustible muy limpio, pues, en caso contrario, en los inyectores que con el servicio se calientan mucho, se forman resinas y las agujas correspondientes se pegan, cosa que podría conducir a importantes daños. El combustible inyectado se inflama en el aire caliente y se quema muy rápidamente. Los motores de inyección directa no necesitan para el arranque en frío dispositivo auxiliar alguno, por ejemplo: bujías incandescentes y tienen un consumo de combustible pequeño. Un inconveniente de estos motores es el pronunciado ruido de la combustión que viene provocado por la rapidez de la misma. El desarrollo de los motores con **la inyección directa ha conducido al motor Diesel con picos de presión bajos**, combustión suave, marcha silenciosa y bajísima proporción de CO en los gases de escape de consumo invariablemente bajo en combustible.

Figura 27. Cámara de combustión con inyección directa



Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

2.2 Cámara de combustión con inyección indirecta

2.2.1. Procedimiento con cámara de precombustión.

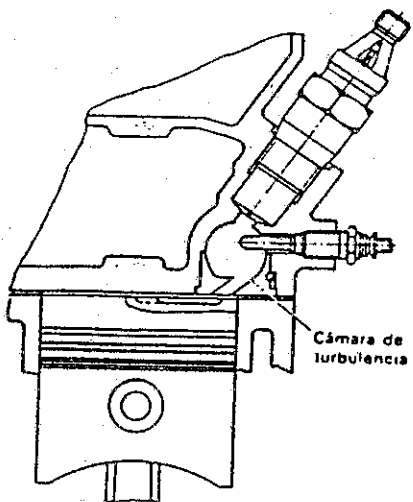
El combustible es inyectado a la cámara auxiliar a una presión de, aproximadamente, 120 a 140 bar. Como inyectores se emplean, generalmente, de tetón. La cantidad de oxígeno que existe en la cámara auxiliar es suficiente para la combustión de una parte del combustible inyectado. La parte restante no quemada es soplada a la cámara de combustión principal en virtud de la sobrepresión que se ha producido por la combustión. Ahí se queman, totalmente, gracias a la buena gasificación y repartición. Se obtiene una formación de mezcla muy buena, incluso, en casos de carga parcial y de reducido número de revoluciones. Durante el tiempo de compresión, el aire entra en la cámara auxiliar y, por la gran superficie de refrigeración de la cámara de combustión dividida, se enfría por ceder calor. La consecuencia es un peor arranque en frío del motor de precombustión en comparación con el

motor de inyección directa. Por esta razón se han dispuesto bujías de encendido en las cámaras auxiliares e iniciar la combustión inflamando en sus alambres incandescentes las partículas de combustible. El aire de aspiración puede también calentarse en el tubo de aspiración, mediante una brida de calefacción.

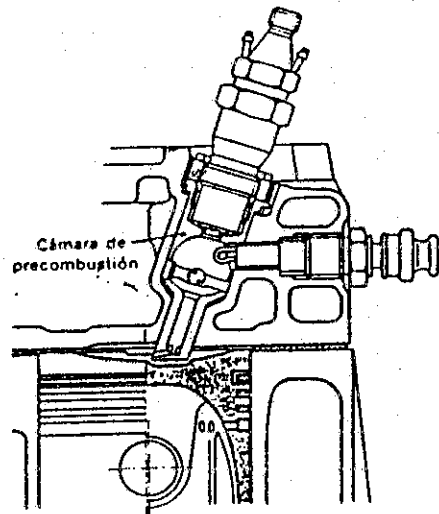
2.2.2. Procedimiento con cámara de turbulencia.

También en el procedimiento de cámara de turbulencia la totalidad del combustible es inyectado en una cámara separada de la principal, la presión de inyección varía entre 120 a 135 bar. El precalentamiento del aire en la cámara de turbulencia y la iniciación de la combustión tiene que realizarse, igualmente, mediante una bujía de encendido. El canal de enlace entre la cámara principal de combustión y la cámara de turbulencia tiene una sección transversal relativamente grande y desemboca tangencialmente en la cámara de turbulencia. En la compresión del aire que llega sin gran resistencia a la cámara de turbulencia se produce una gran turbulencia provocada por la forma esférica de la citada cámara y por la desembocadura tangencial del canal de enlace con la cámara principal de combustión. En este remolino de aire caliente es donde se inyecta, entonces, el combustible.

Figura 28. Motor diesel con cámara de turbulencia y con cámara de precombustión



Motor Diesel con cámara de turbulencia



Motor Diesel con cámara de precombustión

Fuente: Tecnología del Automóvil. Francisco Besante Besante y Miguel Jubera Aguilera.
Versión española 20ª. Edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 1985

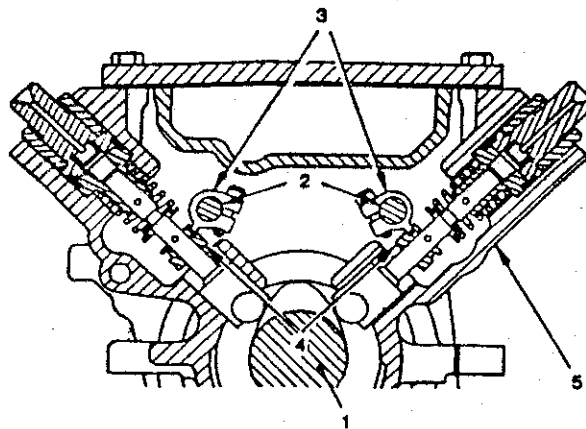
2.3 Inyección por conjunto de elementos con posición en línea o en V

El conjunto de bombas está compuesto de tantos elementos como cilindros tenga el motor. Los distintos elementos son accionados por un árbol de levas dispuesto en una caja o un housing, a través de taqués de rodillo.

Todo elemento está constituido por un cilindro y un émbolo ajustado con un juego de dos a tres milésimas de milímetro. Este ajuste tan fino, que viene obligado por las elevadas presiones que intervienen, no permite nada más que el cambio conjunto de cilindro y émbolo. La disposición de los elementos

puede ser en línea o en V., el diseño varía de un fabricante a otro, pero, el principio es el mismo. El eje de levas es accionado por engranaje que suele ser, a la vez, variador del avance de inyección. El accionamiento es dado por medio de faja o por el tren de engranajes del motor. La relación suele ser de uno a uno con el eje cigüeñal. Las levas convierten el movimiento circular en movimiento lineal transferido a los elementos.

Figura 29. Inyección por conjunto de elementos con posición en línea o en V



Instalación de una bomba de combustible de dosificación por manguito en un motor en V: 1 árbol de levas, 2 varillas de control, 3 palancas de los manguitos, 4 manguitos, 5 cubierta

Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.3.1. Elemento con sesgo.

La superficie lateral del émbolo tiene una ranura longitudinal, un fresado en forma de rampa helicoidal que constituye el canto de mando mediante el cual se regula la cantidad a impulsar.

Por dos taladros dispuestos, uno frente al otro en el cilindro de la bomba, llega el combustible a la cámara de compresión. Durante la carrera de compresión, es movido el émbolo por una leva del árbol de levas y durante la carrera de aspiración, por el resorte de émbolo. La lubricación entre el émbolo y el cilindro corre a cargo del combustible.

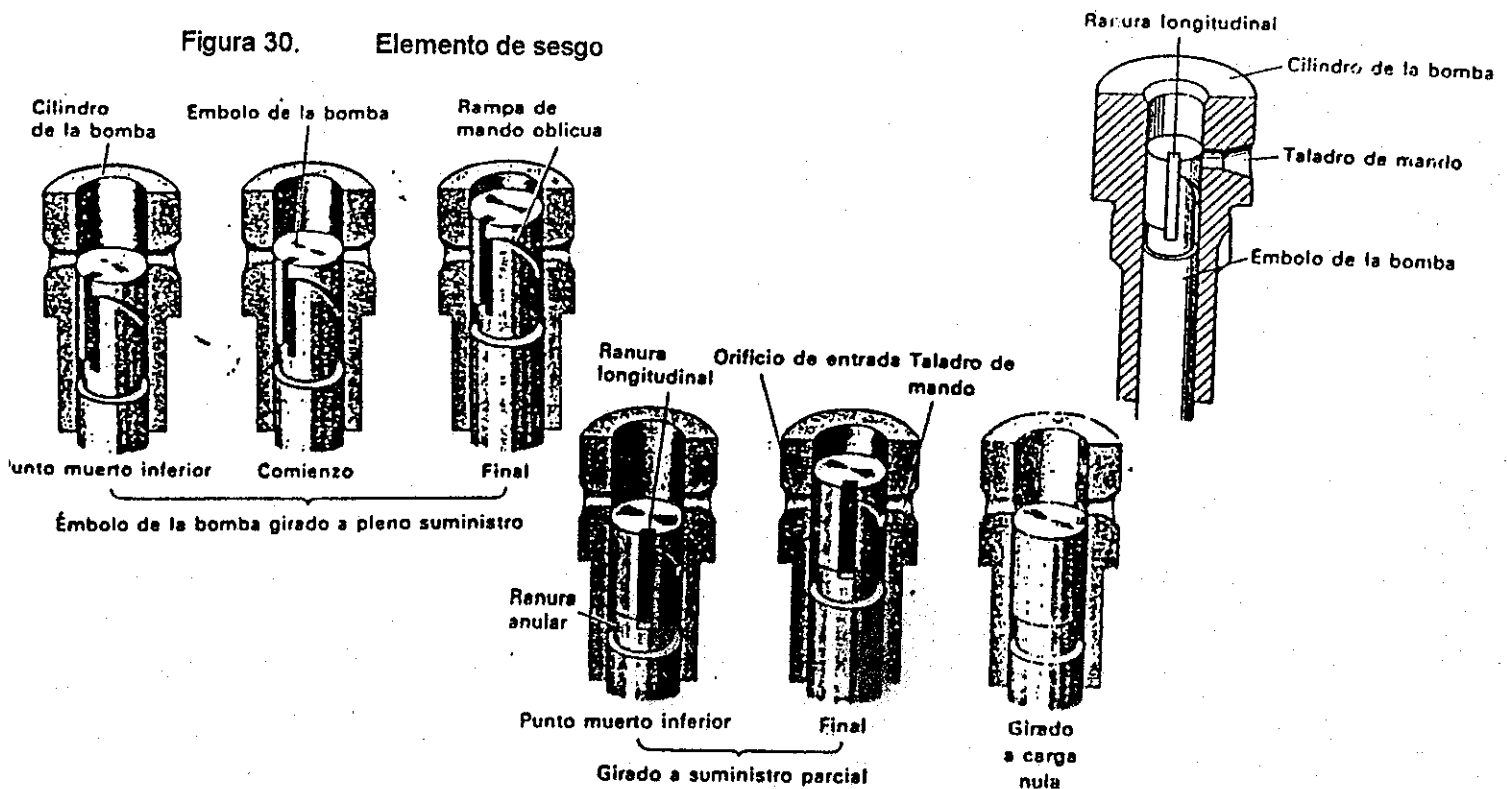
El cierre superior del cilindro está constituido por una válvula de presión cargada con un resorte. Sobre el cilindro se desliza una vaina de regulación accionada por una cremallera que engrana con un segmento dentado que lleva fija la citada vaina. Dos escotaduras longitudinales que lleva la vaina de regulación de su parte inferior sirven de guía a los talones del émbolo. El segmento dentado de la vaina de regulación está en todo momento engranado con la varilla cremallera de regulación. Es decir que, desplazando la varilla de regulación, puede hacerse girar los émbolos de la bomba durante el funcionamiento. Con esto resulta posible variar, de modo continuo, es decir, sin escalonamiento, la cantidad de combustible impulsado. La varilla de regulación va enlazada a un regulador del número de revoluciones o gobernador.

Si se manda combustible a la cámara de aspiración y el émbolo se encuentra precisamente en el punto muerto inferior, fluirá el combustible de los taladros de entrada a la cámara de compresión de los émbolos. Cuando sube el émbolo se cierran los orificios de entrada y, con ello, empieza la impulsión. La impulsión se acaba tan pronto como el canto de mando deja libre el orificio de mando. La carrera de impulsión, es decir, la parte de la carrera durante la cual se impulsa, se rige por la posición en el momento del canto de mando.

En cada posición el comienzo de la impulsión es el mismo, el final de la impulsión y, con ello, la cantidad de combustible enviada, son las cosas que varían. Si el émbolo se gira tanto que el taladro de entrada desemboque en la ranura longitudinal, no podrá haber presión en la cámara de compresión.

Se utilizan también elementos de bomba cuyo cilindro sólo tiene un orificio de mando y entrada. Con estos elementos se consigue, así mismo, una modificación continua sin saltos de la cantidad impulsada por giro del émbolo de la bomba. También hay elementos de bomba que pueden modificarse al comienzo de la impulsión en función de la carga, por medio de un segundo canto en el émbolo situado en su extremo superior.

Figura 30. Elemento de sesgo

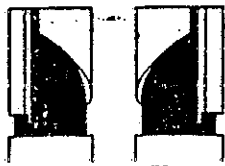


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

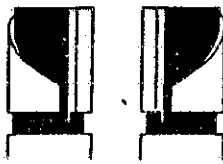
2.3.1.1. Tipos de sesgo

Existen, básicamente, tres tipos de sesgo o hélice del elemento: elemento de sesgo inferior, elemento de sesgo superior y elemento con hélice superior e inferior como se muestra en las figuras.

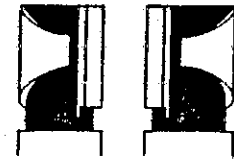
Figura 31. Tipos de sesgo



hélice inferior



hélice superior



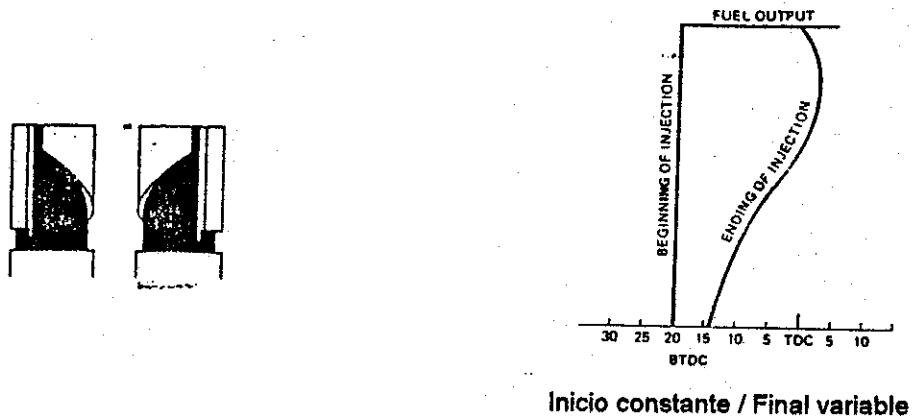
doble hélice

Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.3.1.2. Aplicaciones de los tipos de sesgo.

El uso del sesgo inferior da un comienzo de la entrega de inyección constante y el final de la entrega de combustible es variable.

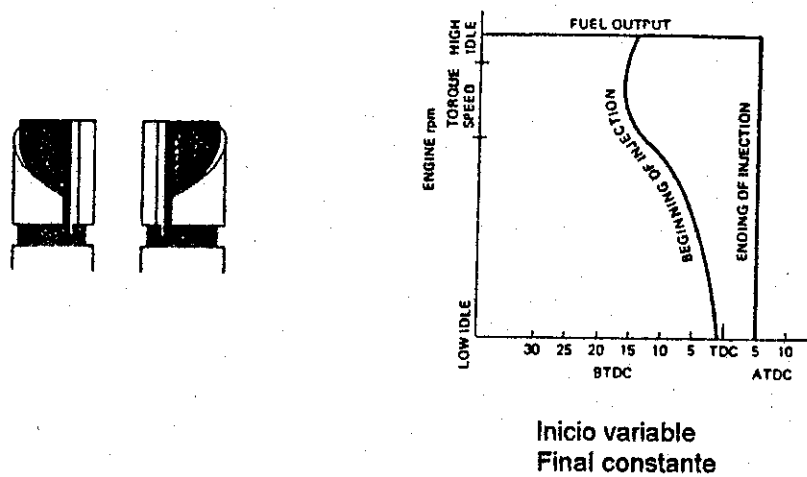
Figura 32. Aplicaciones de los tipos de sesgo (sesgo inferior)



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evrige. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

El uso del sesgo superior da un inicio de la entrega variable y un final de entrega constante.

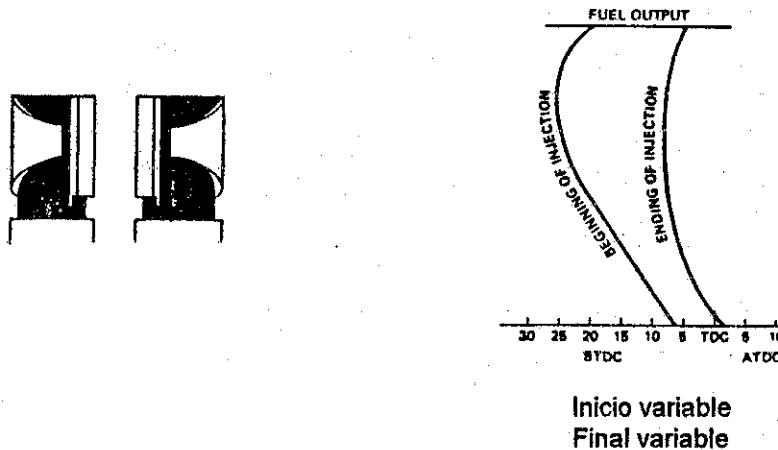
Figura 33. Aplicaciones de los tipos de sesgo (sesgo superior)



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evrige. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

Finalmente, el uso de ambos, una entrega y un final variable respecto del punto muerto superior del pistón.

Figura 34. Aplicaciones de los tipos de sesgo (uso de ambos)

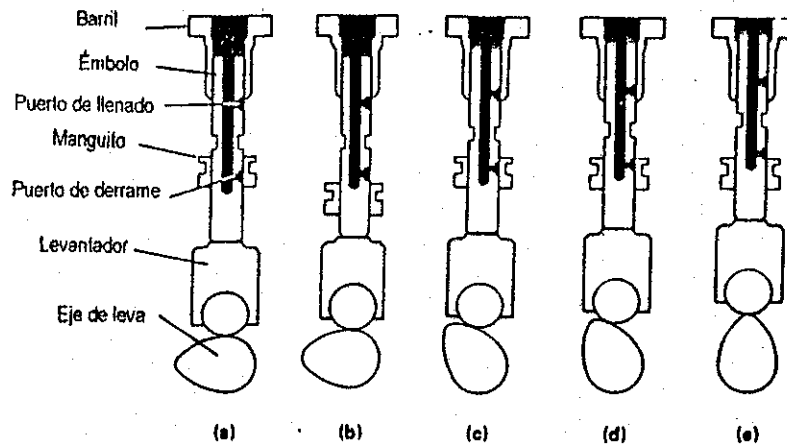


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.3.2. Tipo manguito.

El elemento de tipo manguito tiene también un cilindro, el pistón, un puerto de llenado y un puerto de mando. La posición (b) es la de apagado el manguito y está abajo del puerto de mando. La elevación del pistón se da por medio de la acción de la leva y el buzo o taqué. El volumen del cilindro se llena y la inyección comienza cuando los dos puertos están cerrados, se inicia en la figura (c) y continúa en la figura (d), cuando el puerto de mando es descubierto se libera la presión y finaliza la inyección. El tiempo que tarda cerrado el puerto de mando maneja el caudal a inyectar por medio del manguito.

Figura 35. Tipo manguito



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge, 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.4. Inyección con elemento rotativo.

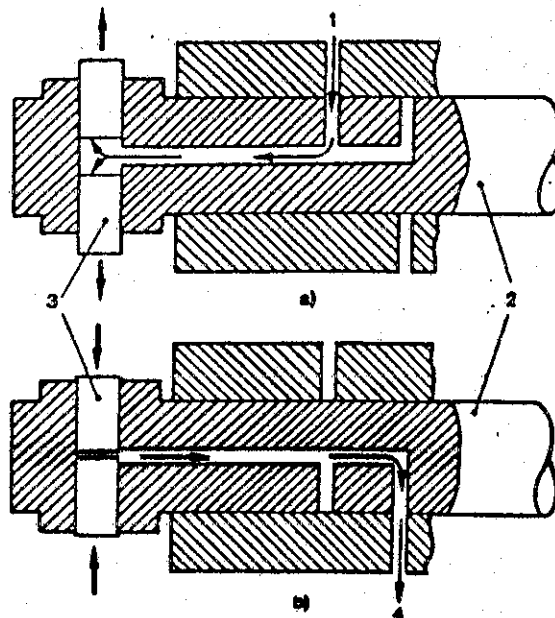
2.4.1. Por medio de pistones

En la figura 36 se ilustra el funcionamiento de los émbolos, en el elemento de bombeo se muestran las posiciones de los émbolos en (a) la carga y (b) inyección. Los émbolos funcionan dentro de un cilindro en el rotor y éste gira en la cabeza hidráulica. En la figura se ilustra el espacio entre los émbolos mientras se carga con Diesel. El rotor, en este momento, tiene el orificio de entrada alineado con el orificio de dosificación en la cabeza hidráulica y una cantidad dosificada de combustible que viene, desde esa válvula obliga a los émbolos a separarse. La distancia que se separen los émbolos se determina en la práctica, por la presión de combustible y por el tiempo que estén alineados los orificios de entrada y de dosificación. Mientras el rotor continúa girando, el orificio de entrada permanecerá cerrado, pero, el

orificio de salida del rotor alinea con uno de los orificios distribuidores en la cabeza hidráulica, la cual está conectada con un inyector. Los lóbulos de los anillos de excéntrica han empujado a los émbolos uno contra otro para producir una carga de combustible a alta presión, con la rotación continua del rotor, otro orificio de entrada en él alinea con el orificio de dosificación en la cabeza hidráulica para que llegue a los émbolos más combustible dosificado. Con más rotación, el orificio de salida del rotor alinea con otro orificio distribuidor para evitar una carga de combustible al siguiente inyector en el orden de encendido del motor y, así, continúa el ciclo de carga y bombeo.

Figura 36. Inyección con elemento rotativo por medio de pistones

Ciclo de bombeo de la bomba de distribuidor:
 1 entrada de combustible, 2 rotor, 3 émbolos de bombeo, 4 combustible al inyector. a) Carga: el combustible separa los émbolos.
 b) Inyección: los lóbulos de la excéntrica han empujado a los émbolos entre sí para entregar una carga de combustible al inyector



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

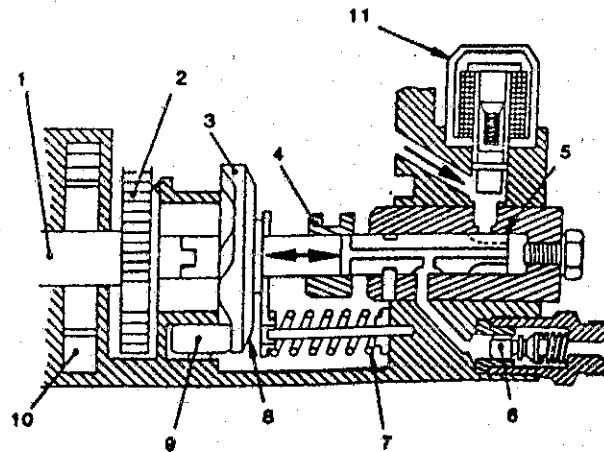
2.4.2. Por medio de una leva plana

En la gráfica se ilustran las piezas principales de la bomba. El eje de impulsión hace girar el disco de la excéntrica y el émbolo montado en el mismo. La cara de la excéntrica que tiene el mismo número de lóbulos que los cilindros del motor, está mantenida contra los rodillos por el resorte del émbolo. El portarrodillos permanece estacionario en la cubierta de la bomba, pero, los rodillos giran sobre sus ejes. La acción de las excéntricas en el disco de excéntricas que está contra los rodillos, hace que se muevan hacia el frente y hacia atrás. Esto también mueve los émbolos hacia atrás y hacia el frente de su barril para producir la acción de bombeo. Con ello el émbolo tiene movimiento rotatorio y reciprocante al mismo tiempo. El émbolo no está conectado en forma rígida con el eje de impulsión, sino, por medio de acoplamiento que le permite movimiento axial en el barril. El émbolo tiene tres funciones: abre y cierra el orificio de entrada de combustible el cual está en el extremo del émbolo a la cámara de bombeo, aplica presión al combustible a la cámara de bombeo, distribuye el combustible a presión al inyector correspondiente en el momento preciso.

La primera y tercera funciones las produce el movimiento rotatorio del émbolo, la segunda la realiza la acción reciprocante del mismo. La cuarta función que es dosificar la cantidad de combustible la lleva a cabo el manguito de control en combinación con el émbolo.

Figura 37. Inyección con elemento rotativo por medio de una leva plana

Diagrama de una bomba de inyección tipo distribuidor modelo VE: 1 eje de impulsión, 2 engrane, 3 excéntrica, 4 manguito de control, 5 émbolo, 6 válvula de entrega, 7 resorte del émbolo, 8 disco, 9 rodillo, 10 bomba alimentadora, 11 solenoide de corte de combustible



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.5. Inyección con bomba de transferencia Diesel e inyectores tipo bomba

2.5.1. Con medición de caudal de entrega por medio de un orificio.

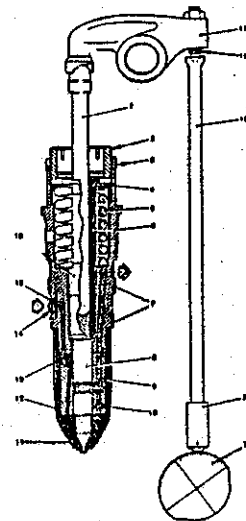
Este tipo de inyectores bomba se instala en la culata con una grapa o una placa de montaje. El combustible (ver figura 38) entra por el orificio 15, pasa por la válvula de bola 13 y llega al barril 9, al conducto anular entre el barril y la copa 11 del inyector y sube hasta el orificio de medición 10 en donde se le mide y envía a la copa 11 del inyector. El combustible que no se inyecta circula por el orificio de medición alrededor del émbolo y sale del inyector al tubo de retorno.

La copa, el barril y el adaptador se mantienen unidos con el retén 12 de la copa que se instala con el extremo del adaptador.

El orificio 10 de medición cerca del extremo del barril en el que está la copa es el tamaño estándar. Los modelos para diferentes modelos de motor tienen orificios de medición de distinto tamaño según las necesidades del motor. Las copas de los inyectores también varían en cuanto al número, tamaño y ángulo de los orificios para atomización. El inyector mide e inyecta el combustible. La medición está basada en la presión y el tiempo, es decir, la presión en el inyector y el tiempo que permanece abierto su orificio de medición. La bomba de combustible varía la presión de acuerdo con las condiciones de funcionamiento lo cual establece la velocidad de rotación del motor, que, a su vez, determina la rapidez del movimiento del émbolo del inyector.

Figura 38. Inyección con bomba de transferencia diesel e inyectores tipo bomba con medición de caudal de entrega por medio de un orificio

Piezas de inyector PT-(tipo D) de tope superior:
 1 articulación, 2 tope superior,
 3 contratuerca, 4 arandela, 5 resorte,
 6 adaptador, 7 sellos anulares, 8 émbolo,
 9 barril, 10 orificio de medición, 11 copa,
 12 retén de la copa, 13 bala de retención,
 14 malla, 15 orificio de entrada, 16 acoplamiento,
 17 balancín, 18 tornillo de ajuste,
 19 varilla de empuje, 20 seguidor, 21 leva
 Cummins



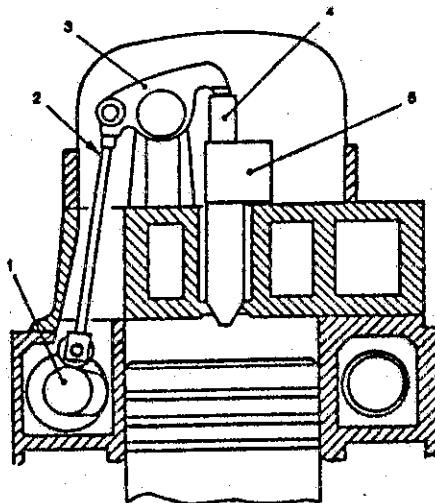
Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evrige. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.5.2. Con medición de caudal por émbolo.

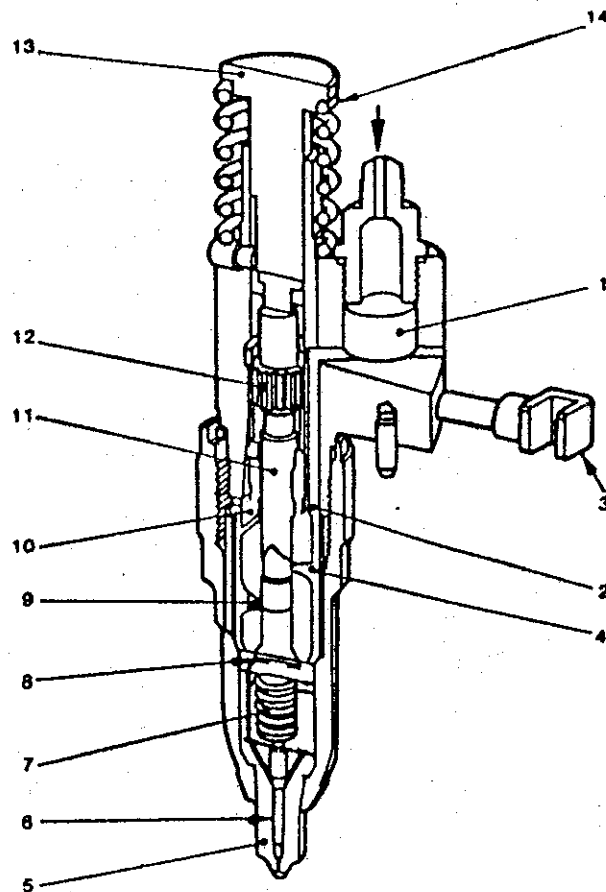
Este sistema se utiliza mediante inyectores unitarios, en los cuales se combina una bomba y una tobera de inyección en una sola unidad, lo cual permite que el inyector suministre una carga de combustible a alta presión y lo inyecte atomizado en la cámara de combustión; en la gráfica se ilustra un inyector unitario y sus piezas externas. Una leva del árbol de levas del motor acciona en forma mecánica al inyector, la leva hace que la varilla de empuje mueva el balancín en la parte superior de la culata, el cual oprime el impulsor en la parte superior del inyector unitario y mueve el émbolo hacia abajo para efectuar las funciones de bombeo e inyección.

El inyector consta de un émbolo central que se mueve hacia arriba y hacia abajo al igual que la inyección lineal sólo que por acción de la leva.

Figura 39. Inyección con bomba de transferencia diesel e inyectores tipo bomba con medición de caudal por émbolo



Instalación del inyector unitario en el motor
1 árbol de levas, 2 varilla de empuje, 3 balancín
4 impulsor del inyector, 5 inyector



Corte seccional de un inyector unitario: 1 filtro, 2 cámara anula, 3 cremallera, 4 orificio superior, 5 tobera, 6 válvula de aguja, 7 resorte de válvula de aguja, 8 válvula de retención, 9 orificio inferior, 10 buje, 11 émbolo, 12 engrane, 13 impulsor, 14 resorte del impulsor

Detroit Diesel

Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

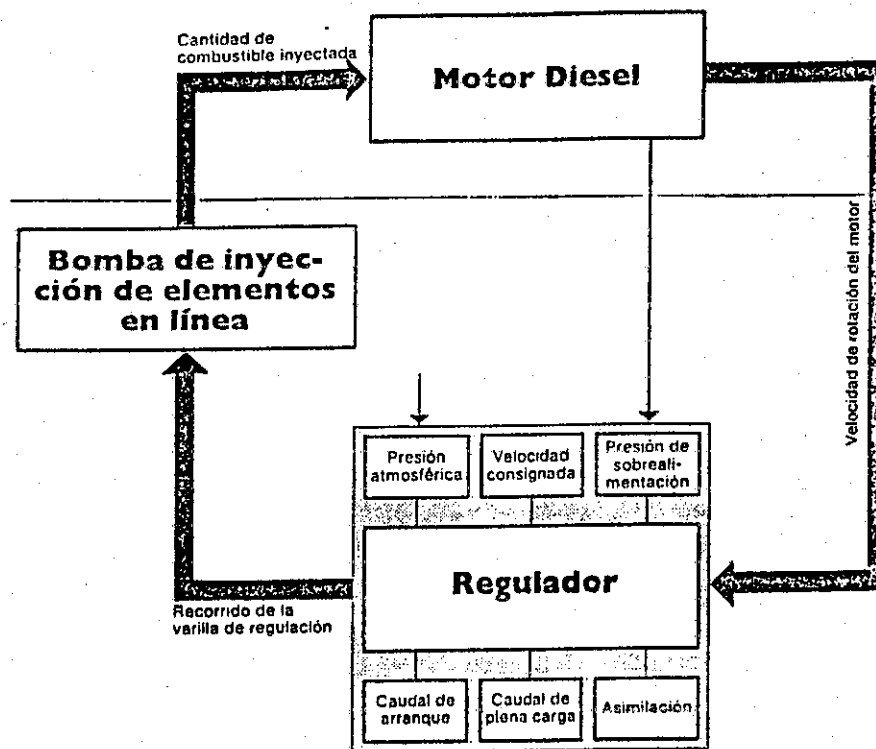
2.6. Gobernador en el sistema de inyección

La función básica de cualquier gobernador es la limitación de la velocidad máxima, es decir, tiene que cuidar que el motor diesel no sobrepase la velocidad máxima admisible fijada por el constructor del motor. Según el tipo de regulador realiza otras funciones, por ejemplo: mantiene a un valor constante la velocidad del motor a diferentes cargas.

Las especificaciones de un motor se pueden entender, fácilmente, en una gráfica de torque, potencia, consumo específico de combustible, presión media efectiva; relacionados todos éstos con las revoluciones del motor.

El gobernador del motor juega un papel importante en estos factores ya que es quien regula la velocidad del motor y modifica el volumen de combustible, según sea la carga.

Figura 40. Gobernador en el sistema de inyección



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. EvrIDGE. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.6.1. Gobernador mecánico

En los gobernadores mecánicos, llamados también gobernadores centrífugos, se utilizan contrapesos o masas en rotación como mecanismo básico de funcionamiento. La fuerza centrífuga que hace girar los contrapesos se emplea para mover la varilla de control de combustible en la bomba de inyección y controlar la inyección en las cámaras de combustión.

Los dos contrapesos (a) están montados en un yugo. Cuando se hace girar el eje (b) la fuerza centrífuga que actúa en los contrapesos los hace moverse hacia afuera (abrirse).

Las palancas de los contrapesos giran en sus montajes y mueven el manguito hacia arriba. Este movimiento se transmite por medio de la palanca a la varilla de control (c) para reducir el combustible entregado por la bomba de inyección a los inyectores.

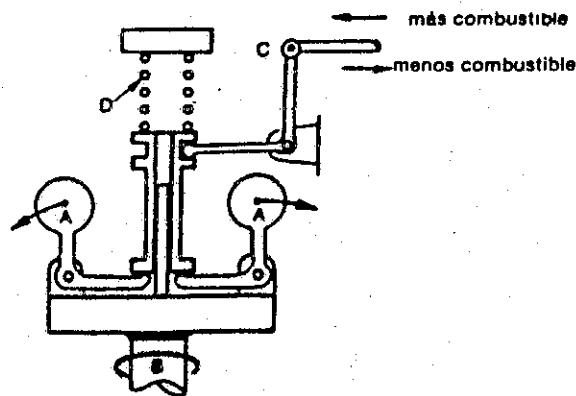
Cuando disminuye la velocidad de rotación, los contrapesos vuelven a su posición original por la acción del resorte del gobernador.

El motor hace girar el gobernador, así que éste es sensible a la velocidad de aquél. La fuerza centrífuga en los contrapesos aumenta en proporción con la velocidad del motor. Esta fuerza transferida al manguito hace que éste se mueva hacia arriba contra el resorte hasta que llega a una posición en la cual la fuerza centrífuga queda balanceada por la carga del resorte. La varilla de control se mantiene estacionaria con lo que la velocidad del motor se mantendrá constante.

Si se aumenta la carga en el motor, éste pierde velocidad porque recibe menos combustible del necesario para la carga aumentada. Esto no ocurre cuando se cuenta con el gobernador.

Por la acción del gobernador, cualquier reducción en la velocidad del motor también disminuirá la velocidad de rotación del gobernador y la fuerza centrífuga que actúa en los contrapesos. El resorte moverá el manguito (camisa) hacia abajo y la varilla de control a la posición de más combustible, con lo cual se aumenta la potencia del motor y se mantiene una velocidad constante.

Figura 41. Gobernador mecánico



Principios de funcionamiento del gobernador mecánico. La fuerza centrífuga en los contrapesos A los mueve hacia fuera. B El movimiento se transmite a la varilla de control C. El resorte D restringe el movimiento.

Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.6.2. Gobernador hidráulico

En los gobernadores mecánicos se utilizan contrapesos para detectar la velocidad del motor y diversos tipos de varillaje para accionar la varilla de control de la bomba de inyección o cambiar la cantidad de combustible entregado a los inyectores. Los gobernadores hidráulicos funcionan de manera algo diferente. En algunos se utiliza en combustible o aceite a presión como medio detector. También se emplea el aceite a presión para accionar un motor de servo y otros componentes hidráulicos para accionar la varilla de control de combustible y variar la cantidad entregada a los inyectores. En otros se utilizan contrapesos para detectar la velocidad del motor y conectarlos con una válvula hidráulica del gobernador. La presión hidráulica para el gobernador la produce una bomba de aspas o engranajes. La bomba suele ser parte de la bomba de inyección o del gobernador. Dado que el gobernador impulsa una bomba, la presión varía, según la velocidad del motor y se puede utilizar tanto como medio detector como para el funcionamiento del gobernador. Los gobernadores hidráulicos se utilizan con algunas bombas de tipo distribuidor o rotativas, también en motores con otros tipos de bomba de inyección en donde se requiere un control sensible del gobernador para aplicaciones particulares.

Las piezas básicas son: una bomba para enviar aceite a presión, un regulador de presión para regular la presión y el retorno del excedente de combustible hacia la entrada de la bomba, un pistón pequeño dentro de un cilindro. Además, una varilla de control conectada con el pistón, un resorte gobernador y una placa de control. El gobernador básico funciona como sigue:

La bomba aplica presión al combustible o al aceite que penetra por el conducto de entrada: esta presión aumenta con la velocidad del motor, pero, se regula con la válvula reguladora de tal modo que el aumento en la presión sea proporcional a la velocidad del motor. El líquido a presión actúa sobre la cabeza del pistón y produce una fuerza hidráulica que mueve el pistón y la varilla de control hacia la derecha.

El resorte gobernador aplica una fuerza que se opone al movimiento del pistón. Éste, por tanto, estará en una posición de balanceo entre la fuerza hidráulica y la tensión del resorte. La varilla de control conectada con el pistón tiene su otro extremo conectado a una válvula de dosificación en la bomba de inyección.

Por tanto, la posición del pistón determina la cantidad de combustible que se entrega a los inyectores.

Como el resorte tiene una fuerza determinada, el pistón siempre estará en la misma posición y el motor funcionará a una velocidad fija, si se reduce la velocidad del motor por la aplicación de carga se reducirá tanto la presión de la bomba como la fuerza hidráulica sobre el pistón.

La fuerza del resorte vencerá la fuerza hidráulica para mover el pistón hacia la izquierda, con lo cual se moverá la varilla de control para aumentar el combustible para los inyectores y recuperar la velocidad del motor. Si la velocidad del motor aumentara, debido a una reducción de carga, el pistón y la varilla de control se moverán hacia la derecha por el aumento de presión y fuerza hidráulica.

Esto reducirá combustible al motor y se recuperará la velocidad del mismo. Las acciones de regulación discretas mantienen una velocidad fija del motor y dependen de la fuerza del resorte.

Si se emplea una palanca de control para poder variar la fuerza del resorte, se puede gobernar el motor a todas velocidades.

Al aumentar la fuerza del resorte se moverán hacia la izquierda el pistón y la varilla de control, con lo que entregará más combustible a los inyectores y aumentará la velocidad del motor.

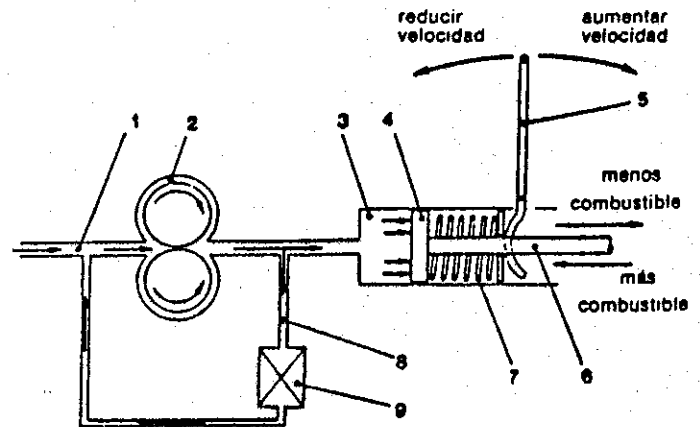
La bomba también aumentará su velocidad para producir presión más alta y mayor fuerza hidráulica contra el pistón para que se oponga a la fuerza adicional del resorte. Por tanto, el pistón toma una nueva posición en donde es balanceado entre las dos fuerzas, ambas mayores que antes.

Si se mueve la palanca de control para reducir la fuerza del resorte, el pistón y la varilla de control se moverán a la derecha para reducir el combustible y la velocidad del motor.

La velocidad y la presión de la bomba se reducirá también y el motor quedará gobernado pero a velocidad reducida.

Figura 42. Gobernador hidráulico

Gobernador hidráulico básico: 1 entrada de combustible, 2 bomba, 3 cilindro, 4 pistón, 5 palanca de control, 6 varilla de control, 7 resorte, 8 conducto de derivación, 9 válvula reguladora



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.6.3. Gobernador neumático.

En el gobernador neumático se utiliza el vacío del múltiple de admisión para accionar un diafragma conectado con la varilla de control de una bomba de inyección en línea. El gobernador consta de dos unidades principales que se ilustran en la figura. La unidad del múltiple, montada en el múltiple de admisión, que incluye una válvula reguladora de estrangulación o mariposa de ahogo accionada por el varillaje del acelerador y la unidad del diafragma montada en la bomba de inyección. Esta unidad está conectada con la unidad del múltiple por dos tubos de succión. El diafragma está conectado con la varilla de control de la bomba y el resorte del diafragma la empuja a la izquierda hacia la posición de máximo combustible. Con el motor parado el resorte mantiene el diafragma en posición para máximo combustible. Cuando arranca el motor, el vacío del múltiple se aplica a la unidad de diafragma por el tubo de succión. Esto mueve el diafragma hacia la derecha para disminuir la entrega de la bomba de inyección y reducir la velocidad del motor. Cuando se abre la mariposa del ahogador en la unidad del múltiple se reduce el vacío debajo de ella.

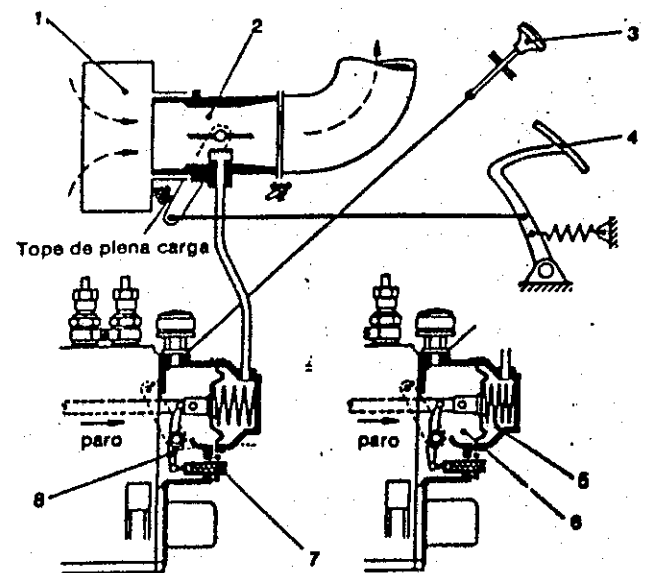
El vacío tiene menos efecto que antes en el diafragma y el resorte puede mover el diafragma hacia la izquierda, con lo cual se aumenta la entrega de combustible y la velocidad o la potencia del motor. Cuando la mariposa del ahogador se dirige a la posición cerrada, aumenta el vacío debajo de ella y el diafragma se mueve otra vez hacia la derecha y toma una posición con relación con la apertura de la mariposa. El diafragma está balanceado en su cámara mediante la presión atmosférica y el vacío con la fuerza del resorte en el otro lado. En marcha mínima la mariposa está cerrada por completo y el vacío

debajo de ella hace que el diafragma se mueva por completo hacia la derecha. Un segundo tubo de succión está conectado con el diafragma y acciona una válvula de aire que actúa para amortiguar las oscilaciones del diafragma.

El ajustador se puede girar hacia adentro o afuera para variar el efecto amortiguador y obtener una marcha mínima más suave. Cuando la mariposa del ahogador está cerrada, la marcha mínima se puede graduar con un tope ajustable, cuando la mariposa está abierta, un tope similar permite ajustar la velocidad máxima.

Figura 43. Gobernador neumático

Controles del gobernador neumático: 1 filtro de aire, 2 Venturis, 3 control de paro-arranque, 4 pedal del acelerador, 5 cámara de vacío, 6 cámara atmosférica, 7 tope de plena carga (velocidad máxima) 8 palanca



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

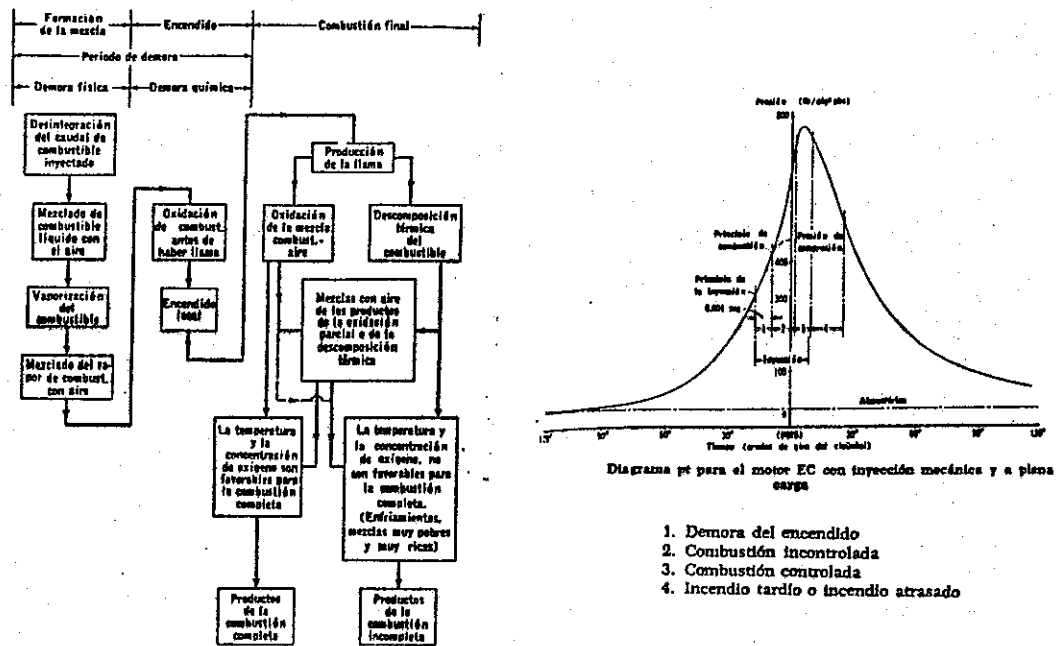
2.7. Avance del sistema de inyección diesel

También se conoce como demora de encendido de combustible. Si el período de demora del encendido del combustible es considerable, será inyectada una cantidad mayor de combustible, que se acumulará en el motor siendo, particularmente, violenta la segunda etapa de combustión, con la consiguiente alta relación de la elevación de la presión en la cámara de combustión. Por otra parte con un período de demora pequeño comparado con la duración de la inyección, se elimina un tanto la segunda porque parte del combustible es inyectado en el seno de los gases muy calientes y otros incendiándose, por lo cual la combustión y la inyección procederán al unísono. Por supuesto, las presiones y sus relaciones en el motor dependerán de muchos factores como en el instante en que se inicia la inyección, el período de demora del encendido del combustible, la velocidad del motor y la duración de la inyección.

El nombre de demora de combustible se asignó al tiempo consumido por ambas demoras, tanto la física como la química. Para combustibles ligeros la demora física es pequeña en tanto a los pesados, viscosos, la demora física puede ser el factor de control. La demora física se reduce grandemente durante el empleo de presiones de inyecciones elevadas y gran turbulencia, facilitando la desintegración del chorro. En la mayoría de los motores diesel la demora del encendido es menor que la duración de la inyección. Por lo cual el período de combustión puede considerarse en cuatro etapas: demora de encendido, elevación rápida de la presión, presión controlada o elevación constante de la presión, incendio de la carrera de expansión. Continuando la etapa se inyecta la porción final de combustible dentro de la llama y,

consecuentemente, la combustión de esta porción es regulada un tanto por la rapidez de la inyección. En vista de que el proceso está muy lejos de ser homogéneo continúa la combustión cuando ya se inició la carrera de expansión. Este incendio continuado puede llamarse la cuarta etapa de combustión. En el motor diesel el encendido tiene lugar en muchos puntos y también con la consiguiente elevación rápida de la presión. Por esta razón, la inyección de un motor Diesel se realiza más o menos 15 grados antes del punto muerto superior. En el motor Diesel la turbulencia primaria ayuda a la desintegración del chorro del combustible y sigue entremezclando las proporciones de la mezcla, las incendiadas y las no incendiadas. Sin embargo, la mayoría de motores Diesel que dependen de la turbulencia primaria son limitados a trabajar a bajas velocidades debido a su mezcla heterogénea.

Figura 44. Avance del sistema de inyección diesel



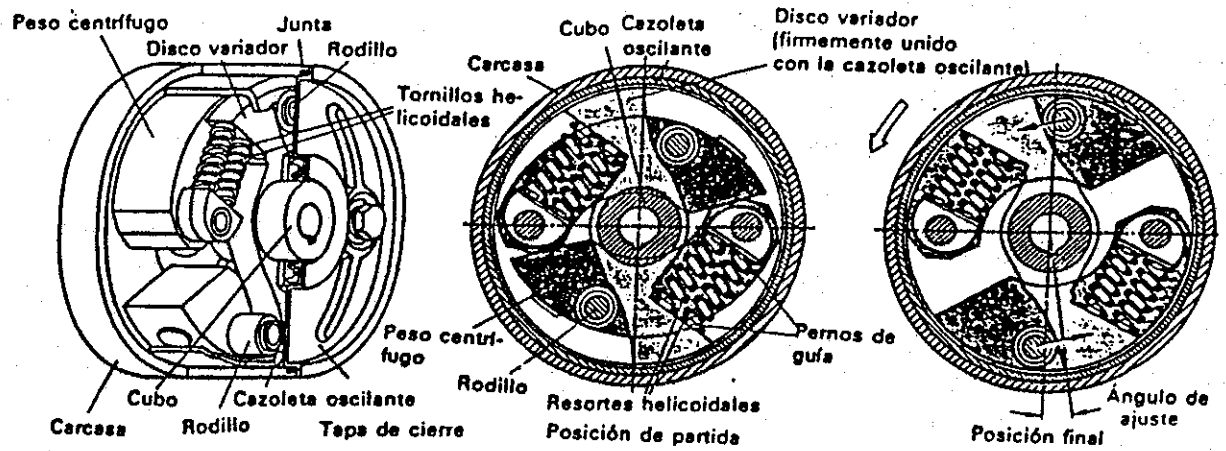
Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

En los motores Diesel se obtiene un mejor rendimiento avanzando el comienzo de la inyección cuando el número de revoluciones del motor es alto. Esto se realiza con la ayuda de un variador automático del instante de la inyección con el cual se puede girar hasta ocho grados durante el funcionamiento el árbol de la bomba de inyección durante el funcionamiento, respecto al árbol cigüeñal. El comienzo de la inyección queda adelantado hasta unos ocho grados más de los ya fijados por la demora de la inyección.

2.7.1. Por engranaje de avance

Utiliza la fuerza centrífuga y es, también, conocido como variador automático de avance de la inyección, trabajo por ello en relación con el número de revoluciones. Si se aumenta éste se mueven hacia afuera los dos contrapesos como consecuencia de la fuerza centrífuga, oprimiendo con sus rodillos sobre las vías de leva del disco variador el cual está firmemente unido a la cazoleta giratoria soportada sobre el alojamiento. La presión de los rodillos sobre las vías de la leva del disco variador es transmitida por éste a cuatro resortes helicoidales que se comprimen un poco haciendo con ello un pequeño giro llamado ángulo de variación.

Figura 45. Avance del sistema de inyección diesel por engranaje de avance



Variador automático del instante de la inyección

Modo de funcional el variador automático del instante de la inyección

Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

Como el cubo del disco variador está firmemente unido con el árbol de levas de inyección, girará también, lo cual tiene como consecuencia un adelanto del inicio de la impulsión y, con ello, del instante de inyección.

2.7.2. Avance hidráulico.

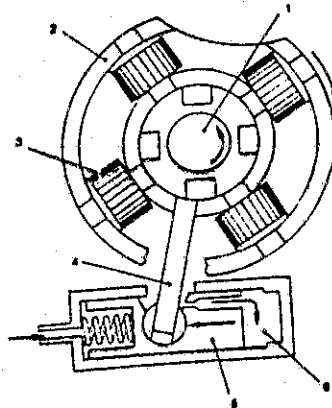
Este tipo de avance es comúnmente utilizado en las bombas conocidas como el tipo de distribuidor o rotativas. En el mecanismo de avance de la inyección gira el rodillo unos cuantos grados en la cubierta de la bomba en sentido opuesto de la rotación del eje. Esto hace que junto a la acción de un plato de excéntricas, el rodillo inicie antes el ascenso en la leva para adelantar la inyección.

El movimiento de rotación del rodillo se controla con un pistón dentro del cilindro que está sometido a la presión interna de la bomba de alimentación. El pistón queda balanceado entre la carga del resorte en un extremo y la presión de la bomba de alimentación en el otro. Cuando aumenta la velocidad de la bomba de inyección, también sube la presión de la bomba de alimentación para mover el pistón contra el resorte. Esto hace girar el rodillo para avanzar la inyección. El avance de la inyección se debe a la velocidad del motor.

Además, el mecanismo de avance ajusta el tiempo de inyección en relación con la carga del motor. Cuando la carga de un motor reduce la velocidad de él, el gobernador abre un orificio de control para reducir la presión de la bomba de alimentación. Esto reduce también la presión contra el pistón en el mecanismo de avance y el resorte mueve el pistón a la posición de retardo.

Figura 46. Avance del sistema de inyección diesel por avance hidráulico

Mecanismo de avance de sincronización: 1 eje, 2 portarrodillos, 3 rodillo, 4 palanca, 5 pistón, 6 presión de la bomba alimentadora



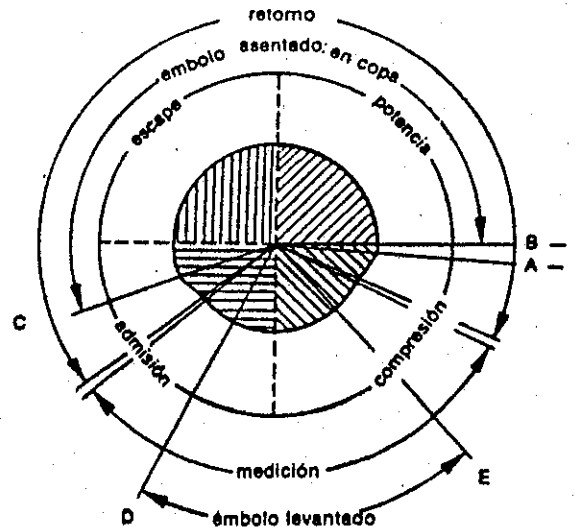
Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

2.7.3. Avance por leva.

Este tipo de avance es utilizado en sistemas de inyector bomba. El diseño de la leva es el que dará un grado de avance fijo en la inyección. La leva es parte del árbol de levas del motor y gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal. La leva del diagrama se ha dividido en cuatro cuadrantes para señalar los cuatro tiempos del motor y el ciclo del motor se puede ver con relación al funcionamiento del motor. Empezando en el punto A) del diagrama la inyección comienza antes del punto muerto superior en la carrera de compresión y sigue hasta B) donde concluye.

Figura 47. Avance del sistema de inyección diesel por avance por leva

La leva es parte del árbol de levas y gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal. La leva del diagrama se ha dividido en cuatro cuadrantes para señalar los cuatro tiempos del motor (potencia, escape, admisión y compresión) y el ciclo de inyección se puede ver en relación con el funcionamiento del motor. Empezando en el punto A) del diagrama, la inyección comienza antes del PMS en la carrera de compresión y sigue hasta B) en donde concluye



Ciclo de inyección de combustible del inyector PT Cummins

Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

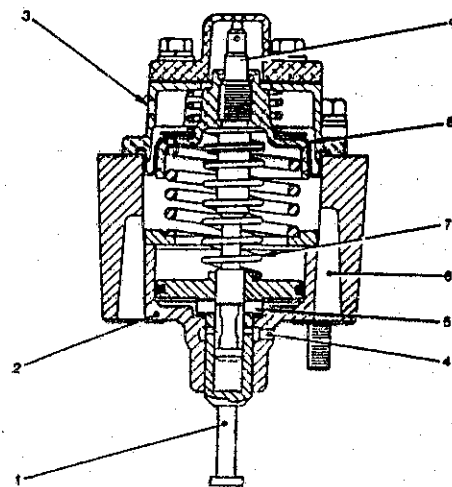
2.8. Válvulas de relación aire combustible

En los motores turbocargados y normalmente aspirados es necesario un control aire-combustible para evitar humo negro en el escape. Debido a la inercia del rotor del turbocargador, su descarga de aire queda retrasada en relación con los requisitos del motor cuando se acelera desde bajas velocidades. La escasez de aire en relación con la cantidad de combustible que se inyecta durante ese período produce humo negro en el escape, salvo que se tenga algún medio para restringir la entrega de la bomba de inyección. Para este fin se utilizan los mecanismos llamados controles de la relación aire combustible o controles de sobrealimentación. Funcionan por la presión en el múltiple de admisión y actúa contra la varilla de control de inyección en la bomba para reducir en forma temporal la cantidad de combustible inyectado. Estos tipos de controles pueden censar presión en el manifold de admisión si el motor es turbocargado o vacío en un motor de aspiración natural, en este caso se les conoce también con el nombre de compensador de altura y actúa de igual manera en la varilla de inyección.

Figura 48. Válvulas de relación aire combustible

Control de relación aire-combustible:
1 válvula, 2 entrada de aceite, 3 conducto de entrada de aire, 4 salida del aceite, 5 conducto grande para el aceite, 6 descarga de aceite, 7 resorte, 8 diafragma, 9 válvula.

Caterpillar



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

3. DESCRIPCIÓN, PRUEBA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN SECCIONADOS

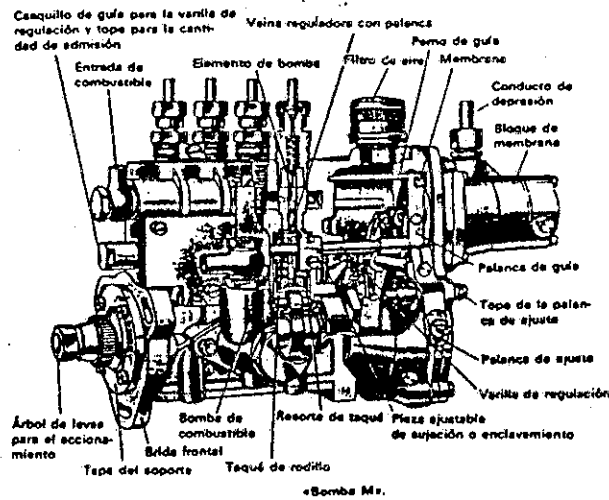
3.1. Lineal Bosch

3.1.1. Bomba lineal de cuerpo compacto tipo M.

Es el tipo constructivo más pequeño de bomba de inyección con árbol de levas propio. Se diferencia, esencialmente, de los demás tipos por la clase de regulación de la cantidad impulsada. En la varilla de regulación, la que consiste en un acero cilíndrico aplanado por un lado, se han dispuesto piezas de sujeción desplazables. Las vainas reguladoras llevan siempre una palanca unida de modo fijo en cuyo extremo se halla un perno remachado. Cada perno arrastra en una ranura de la correspondiente pieza de sujeción. Mediante desplazamiento de la pieza de sujeción sobre la varilla de regulación puede realizarse por separado el ajuste de la cantidad impulsada por cada elemento de bomba.

El émbolo del elemento de bomba se apoya directamente sobre el taqué de rodillo; no hay tornillo de ajuste. El comienzo de la impulsión se ajusta cambiando los rodillos (distintos diámetros de rodillos). El alojamiento del regulador y que sirve para la conexión del filtro de aire de ventilación; no hay varilla para medir el nivel del aceite.

Figura 49. Bomba lineal Bosch de cuerpo compacto tipo M



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

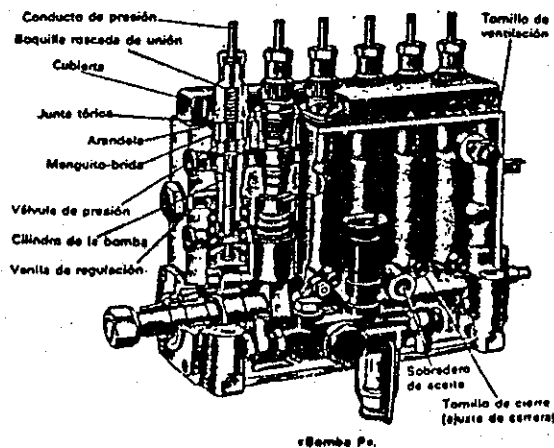
3.1.2. Bomba lineal de cuerpo abierto tipo P.

Esta bomba ofrece, a pesar del volumen, relativamente pequeño que ocupa, una notable elevación de la presión de inyección y de la cantidad impulsada. Además, está exenta de cuidados especiales puesto que está acoplada al circuito de aceite del motor. La bomba es aplicable también a motores Diesel de combustibles múltiples.

El elemento de bomba, la válvula de presión y la conexión con la tubería de presión van sujetos por un manguito-bridado de acero formando un conjunto. Con esto queda descargado el cuerpo y se simplifica el montaje. Para accionamiento con combustibles múltiples se han previsto elementos con bloqueo del paso de combustible muy fluido al cárter del árbol de levas (Fig. 50). La transmisión de fuerza de la varilla de regulación a la vaina de

regulación no se realiza como anteriormente, mediante dentado, sino por la varilla de regulación, que es de perfil en ángulo, provista de hendiduras que engranan en unas bolas que van fijadas a la vaina de regulación. La cantidad a impulsar se ajusta mediante giro del manguito-bridado. El cuerpo de la bomba no tiene abertura alguna para ajuste y es de tipo cerrado.

Figura 50. Bomba lineal Bosch de cuerpo abierto tipo P

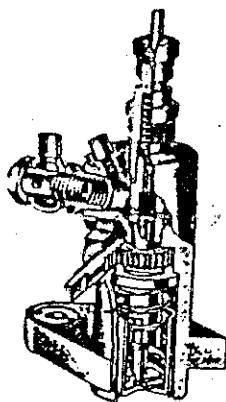


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.3. Bomba individual de brida de fijación

Generalmente, está realizada como bomba de un solo cilindro, no tiene árbol de levas propio sino que es accionada por el árbol de levas del motor a través de un taqué. Con el objeto de hacer posible que las bombas de un cilindro puedan fijarse al motor de diversos modos, se fabrican con distintas disposiciones de bridas. Para motores de varios cilindros se reúnen en un cuerpo común los necesarios elementos de bomba.

Figura 51. Bomba lineal Bosch de cuerpo abierto tipo P



Bomba con brida de fijación

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.4. Reguladores mecánicos (de fuerza centrífuga)

Los reguladores mecánicos son los más utilizados para los motores Diesel. El regulador mecánico Bosch está montado en la bomba de inyección. La varilla de regulación de la bomba de inyección está unida por medio de una articulación al varillaje del regulador. La unión con el pedal acelerador se realiza por medio de la palanca de mando del regulador.

Conjunto masas rotantes.

Existen dos modelos diferentes de conjuntos masas rotantes para los reguladores mecánicos:

- RQ, RQV: los resortes de regulación están montados en los pesos centrífugos

- RSV, RS: la fuerza centrífuga actúa por intermedio de un sistema de palancas sobre el resorte de regulación montado fuera de los pesos centrífugos.

En los reguladores mecánicos de los modelos RQ y RQV, cada uno de los pesos centrífugos actúa directamente sobre un juego de resortes especialmente previstos para cualquier velocidad nominal. En el caso de los reguladores de los modelos RS y RSV, los dos pesos centrífugos, por intermedio de un bulón de regulación, empujan la palanca tensora, de la que el resorte de regulación tira en sentido opuesto. Al regular la velocidad mediante la palanca de mando, el resorte de regulación se tensa en función de la velocidad deseada. Los resortes de regulación de estos dos conjuntos masas rotantes se eligen de modo que, para la velocidad deseada, la fuerza elástica de los resortes se mantiene en equilibrio. Al sobrepasar esta velocidad, la creciente fuerza centrífuga desplaza la varilla de regulación por intermedio de un sistema de palancas y el caudal suministrado disminuye.

3.1.4.1 Reguladores de máxima y mínima RQ

Construcción.

La representación esquemática permite reconocer los componentes principales del regulador y su funcionamiento combinado. El árbol de levas de la bomba de inyección acciona el cubo del regulador por intermedio de un amortiguador de vibraciones. Los dos pesos centrífugos y sus palancas acordadas están alojados en el cubo del regulador. Un juego de resortes está montado en cada uno de los pesos centrífugos. Las palancas acodadas

convierten los recorridos radiales de los pesos centrífugos en movimientos axiales del perno de regulación que los transmite a la deslizadera. Conducida, longitudinalmente, por el perno de guía, la deslizadera establece por intermedio de la palanca de regulación, la unión entre las masas rotantes y la varilla de regulación; el extremo inferior de la palanca de regulación está articulado en la deslizadera. En la palanca de regulación hay una colisa. El dado deslizante es guiado radialmente por la palanca articulada, ésta está unida a la palanca de mando sobre el mismo eje. La palanca de mando es accionada a mano o mediante el pedal acelerador, a través de un varillaje. Al accionar la palanca de mando, el dado deslizante se desplaza y la palanca de regulación se inclina alrededor del fulcro de la deslizadera; cuando el regulador entra en acción, el centro de rotación de la palanca de regulación se encuentra en el dado deslizante.

Gracias a la colisa, la relación de transmisión de la palanca de regulación es modificada. Como consecuencia se dispone de una fuerza de reglaje más que suficiente para accionar la varilla de regulación, también en el régimen de ralenti donde las fuerzas centrífugas son todavía pequeñas.

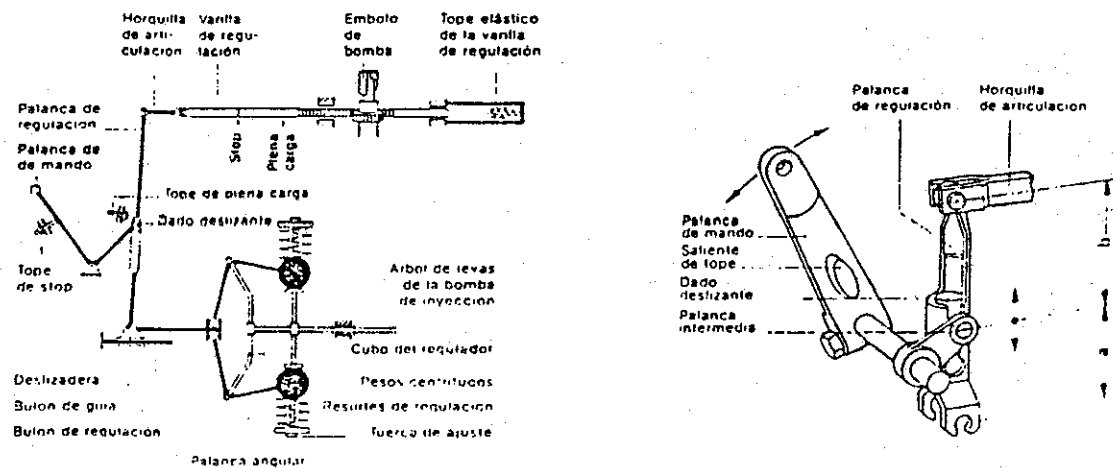
Los juegos de resortes (resortes de regulación) montados en los pesos centrífugos, consisten generalmente en tres resortes helicoidales dispuestos concéntricamente. El resorte exterior se apoya entre el peso centrífugo y el platillo de resorte exterior. Los dos resortes interiores se encuentran entre los platillos exterior e interior de resorte. Durante la regulación de la velocidad de ralenti sólo actúa el resorte exterior (resorte de ralenti); al aumentar la velocidad, los pesos centrífugos permanecen apoyados en el platillo de resorte interior, después de vencer el recorrido de ralenti, hasta que comienza la

regulación de velocidad máxima. Durante ésta, todos los resortes actúan simultáneamente. Los dos interiores se califican de resortes de regulación de la velocidad máxima.

Figura 52. Reguladores de máxima y mínima RQ

Representación esquemática del regulador de máxima y mínima RQ - Posición de reposo (stop).

Modificación de la relación de transmisión a/b de la palanca de regulación del regulador RQ.



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Comportamiento en servicio.

Parada del motor: la palanca de mando se encuentra en el tope de "stop". Los pesos centrífugos están cerrados. Se encuentran en posición de reposo.

Posición de arranque: (palanca de mando en posición de plena carga) después de vencer la fuerza del resorte recuperador en el tope elástico de la varilla de regulación, ésta se desplaza hasta el tope de caudal de arranque.

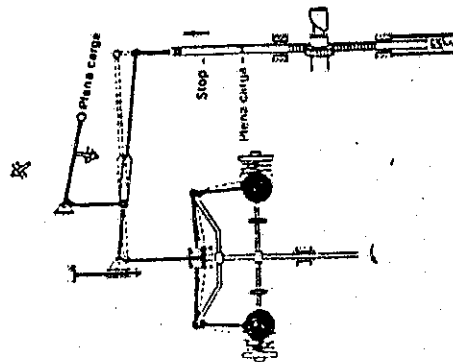
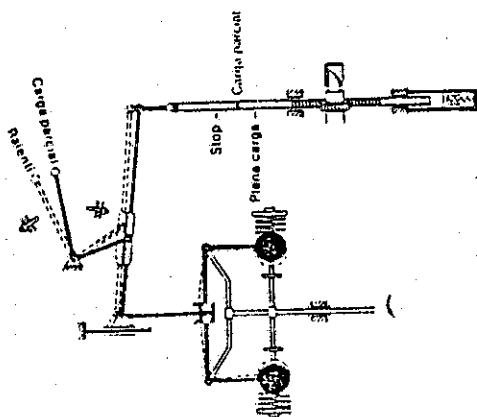
Posición de ralenti: después de arrancar el motor y de soltar la palanca de mando (pedal acelerador) ésta regresa a la posición de ralenti (ha de preverse un tope apropiado en el vehículo o en el motor) La varilla de regulación regresa, asimismo, a la posición de ralenti, determinada ahora por el regulador que ha entrado en acción.

Por velocidad de ralenti de un motor se entiende la velocidad mínima a la que continúa girando con seguridad sin rendir trabajo útil. La carga está constituida únicamente por la fricción propia del motor y por los grupos acoplados continuamente al mismo, como lo son el alternador, la bomba de inyección, el ventilador, etc. Para vencer esta carga de ralenti, el motor necesita una determinada cantidad de combustible. La recibe a una posición de la palanca de mando que corresponde a la ralenti prescrita.

Figura 53. Reguladores de máxima y mínima, según comportamiento en servicio

Regulador RQ - Carga parcial. La posición de los pesos centrífugos permanece invariable hasta alcanzar la velocidad máxima de rotación.

Regulador RQ - Regulación de la velocidad máxima a plena carga. La varilla de regulación comienza a desplazarse en dirección de "stop".



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Carga parcial: funcionando el motor con carga (entre ralenti y plena carga) En cuanto el conductor pisa ligeramente el pedal acelerador, el motor acelera y los pesos centrífugos se desplazan hacia afuera. El regulador tiene, pues, la tendencia a moderar el aumento de la velocidad de rotación. Más ya, al sobrepasar la velocidad de ralenti ligeramente, los pesos centrífugos se apoyan en los platillos de resorte sometidos a la carga de los resortes de regulación de la velocidad máxima y permanecen en esta posición hasta que alcanza la velocidad máxima. En efecto, los resortes de regulación de la velocidad máxima no ceden al efecto de la fuerza centrífuga hasta que el motor tiende a sobrepasar el régimen nominal. Por consiguiente, el regulador no interviene entre la velocidad de ralenti y la máxima. Sólo el conductor influye en este margen sobre la posición de la varilla de regulación y, con ello, en el par motor.

El corte en alta se inicia cuando el motor sobrepasa la velocidad nominal nvo. Esto puede suceder a plena carga o como carga parcial, según la posición en que se encuentre la palanca de mando. En cuanto la regulación de la velocidad máxima comienza a actuar, la posición de la varilla de regulación ya no depende exclusivamente del conductor, sino también del regulador. El recorrido de los pesos centrífugos para la regulación de la velocidad máxima es de 5 mm, que corresponde (con una transmisión de 1:3,23) a un recorrido de la varilla de regulación de unos 16 mm, que son suficientes para que el regulador desplace la varilla desde la posición de plena carga hasta la de stop.

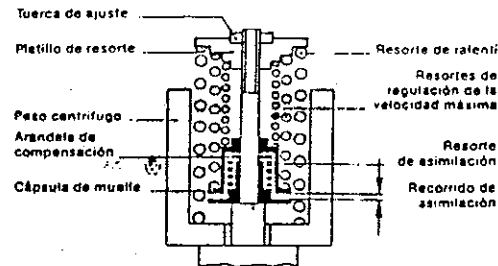
Dispositivo de asimilación en el regulador RQ

En el regulador RQ, el dispositivo de asimilación está montado en los pesos centrífugos, a saber, entre el platillo de resorte interior y los resortes de regulación de la velocidad máxima. El resorte de asimilación se encuentra en una cápsula, sobre cuyas partes exteriores se apuntalan los dos resortes de regulación de la velocidad máxima. La acción del resorte de asimilación antecede, pues, a la de los resortes de regulación de la velocidad máxima. La distancia entre el platillo de resorte interior y la cápsula representa el recorrido de asimilación (0,3.....,5 mm). Puede ser ajustado con las arandelas de compensación.

El comienzo de la asimilación n1, depende de la curva característica de la cantidad de combustible que necesita el motor. Poco antes de alcanzar la velocidad máxima, el resorte de asimilación está suficientemente comprimido para que el platillo de resorte interior y la cápsula estén en contacto n2. Sin el resorte de asimilación, el regulador permanece inactivo entre la velocidad de ralenti y la máxima. Al ceder el resorte de asimilación, los pesos centrífugos pueden desplazarse hacia afuera (recorrido de asimilación) en la gama comprendida entre la velocidad de ralenti y la máxima y desplazar la varilla de regulación hacia la dirección de stop (asimilación positiva).

Figura 54. Dispositivo de asimilación en el regulador RQ

Dispositivo de asimilación en el regulador RQ



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

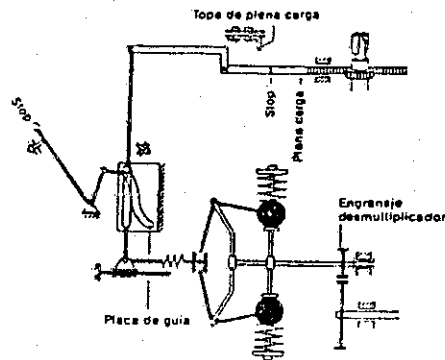
3.1.4.2. Regulador de máxima y mínima RQU

El regulador RQU es apropiado para regular velocidades de rotación muy bajas. Está equipado con un engranaje desmultiplicador (de aprox. 3:1) entre el árbol de levas de la bomba de inyección (impulsor) y el cubo del regulador. El RQU ha sido desarrollado para las bombas de inyección PE.Z, utilizadas para los motores mayores que, generalmente, funcionan a régimen lento. Su funcionamiento y su comportamiento en servicio son los mismos que del regulador RQ.

La palanca articulada del regulador RQU es de dos piezas y es conducida en una placa de guía, como el regulador RQV.

Figura 55. Regulador de máxima y mínima RQU

Representación esquemática del regulador de máxima y mínima RQU - Posición de reposo (stop)

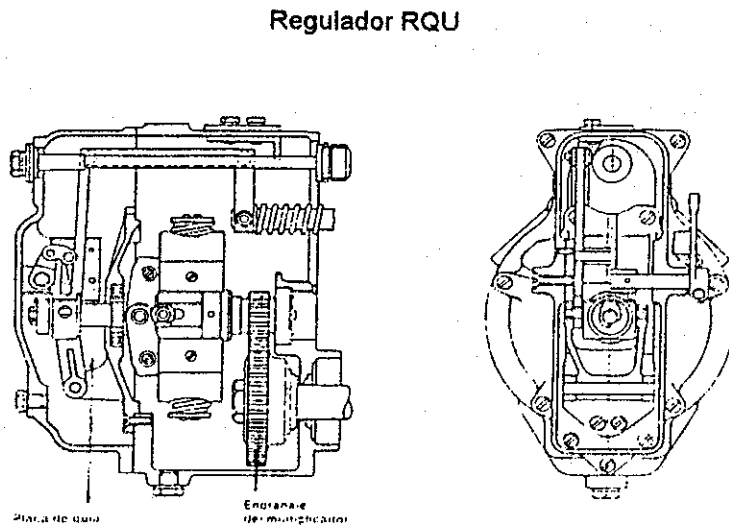


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.4.3. Regulador de máxima RQ y RQU

El regulador de máxima se distingue, principalmente, del regulador de máxima y mínima en el hecho de que no tiene la etapa de ralenti. En servicio se comporta como la etapa de máxima del regulador de máxima y mínima RQ o RQU: la regulación de la velocidad máxima comienza cuando el motor tiende a sobrepasar la velocidad nominal.

Figura 56. Regulador de máxima RQ y RQU



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.4.4. Regulador de todo régimen RQV

Construcción.

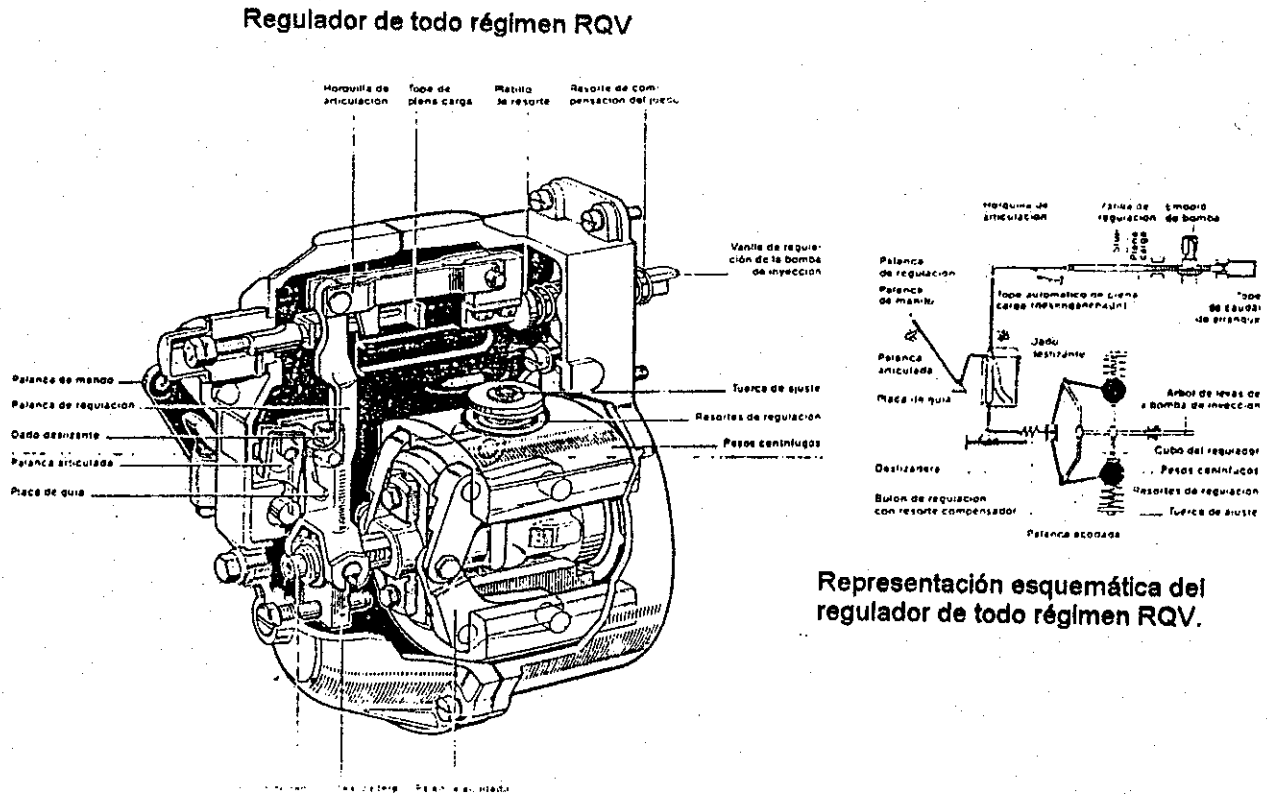
El regulador RQV tiene una construcción semejante a la del regulador RQ: los resortes de regulación están montados en los pesos centrífugos. No obstante, al aumentar la velocidad de rotación dentro del margen de regulación prescrito, los pesos se desplazan hacia afuera. A cada posición de la palanca de mando corresponde una velocidad determinada, a la que comienza el corte del caudal. Los movimientos de la palanca de mando son transmitidos a la palanca de regulación y con ello, a la varilla de regulación por intermedio de la palanca articulada de dos partes (palanca acodada) y del dado deslizante. El centro de rotación de la palanca de regulación puede desplazarse en la colisa;

además, está guiado por una placa de guía fijada al cárter del regulador, de modo que la relación de desmultiplicación de la palanca de regulación varía dentro de los límites comprendidos entre 1:1,7 y 1:5,9.

El bulón de regulación que sirve de elemento de unión entre el mecanismo de medición y la palanca de regulación, dispone de un resorte compensador para presión y tracción (resorte compensador).

Como en el regulador RQ, el juego de resortes montado en los pesos centrífugos consiste, en general, de tres resortes helicoidales dispuestos concéntricamente. El resorte exterior sirve para regular el ralenti; se apuntala entre el peso centrífugo y la tuerca de ajuste de la tensión inicial de los resortes. Después de vencer el corto recorrido de ralenti (etapa de ralenti), el peso centrífugo se apoya en el platillo de resorte y los resortes interiores, montados entre el platillo de resorte y la tuerca de ajuste, entra también en acción. A partir de ese momento, todos los resortes participan en la regulación de la velocidad ajustada con la palanca de mando.

Figura 57. Regulador de todo régimen RQV



Representación esquemática del regulador de todo régimen RQV.

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

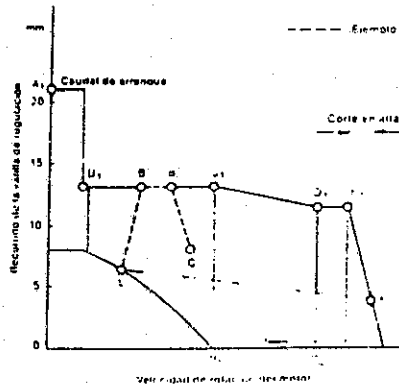
Comportamiento en servicio.

Paro en motor: la palanca de mando toca el tope de stop y la varilla de regulación se encuentra en la posición de stop.

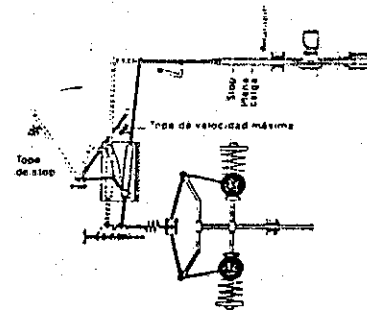
Posición de arranque: la palanca de mando toca el tope de velocidad máxima y la varilla de regulación se desplaza hasta el tope del caudal de arranque (punto A1, Figura 58).

Figura 58. Regulador de todo régimen RQV (posición de arranque)

Curvas características del regulador RQV



Regulador RQV - Posición de arranque

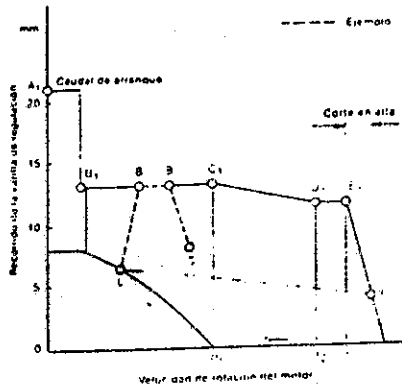


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

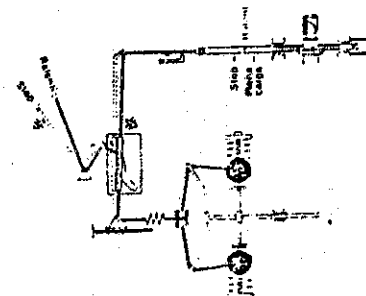
Posición de ralenti: después de arrancar el motor y de soltar la palanca de mando (pedal acelerador) ésta regresa a la posición de ralenti. La varilla de regulación también regresa a la posición de ralenti, determinada por el regulador que en ese momento entra en acción (punto A o L, Figura 59).

Figura 59. Regulador de todo régimen RQV (posición de ralenti)

Curvas características del regulador RQV



Regulador RQV - Posición de ralenti



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Carga del motor: si a una velocidad de rotación cualquiera, ajustada por la palanca de mando (pedal acelerador) se varía la carga a que se somete el motor, el regulador mantiene la velocidad ajustada aumentando o aminorando el caudal suministrado dentro de los límites del correspondiente estatismo.

Ejemplo.

El conductor ha llevado la palanca de mando de la posición de ralenti a una posición que debe corresponder a una velocidad deseada del vehículo. El desplazamiento de la palanca de mando se transmite a la palanca de regulación por intermedio de la palanca articulada. La desmultiplicación de la palanca de regulación es variable y alcanza inmediatamente después de sobrepasar el margen de ralenti, un valor tan grande que una parte relativamente pequeña de la carrera de la palanca de mando o de los pesos centrífugos basta para desplazar la varilla de regulación hasta el tope de plena carga ajustado (recorrido LB' en la figura 58) debe estar previsto, pues, un tope para la varilla de regulación (firme o regulable a mano, pero de ninguna manera elástico). Al continuar girando, la palanca de mando hace tensar el resorte compensador. La varilla de regulación permanece provisionalmente en la posición de plena carga y provoca una rápida aceleración del motor (B' - B'') Los pesos centrífugos se desplazan hacia afuera, pero, la varilla de regulación permanece en la posición de plena carga hasta que se afloja el resorte compensador. Sólo entonces y no antes, los pesos centrífugos actúan sobre la palanca de regulación y la varilla de regulación es

desplazada en dirección de stop. El caudal de suministro disminuye de nuevo y la velocidad de rotación es limitada. Este límite del régimen del motor corresponde a la posición de la palanca de mando y al tope de los pesos centrífugos (recorrido B"C en el diagrama).

En servicio, a cada posición de la palanca de mando está coordinada una gama bien determinada de velocidades de rotación, mientras el motor no sea sometido a sobrecarga ni impulsado por el vehículo al conducir en cuesta abajo (servicio con freno motor). Si la carga del motor aumenta, por ejemplo: en cuesta arriba la velocidad del motor y del regulador disminuye. Como consecuencia, los pesos centrífugos se desplazan hacia adentro y mueven la varilla de regulación en dirección de plena carga, con lo que se mantiene la velocidad del motor determinada por la posición de palanca de mando y por el estatismo.

Si la carga (inclinación de la rampa) es tan grande que la varilla de regulación es desplazada hasta el tope de plena carga, pero la velocidad disminuye, los pesos centrífugos se juntan todavía más en función de esta velocidad y desplazan el bulón de regulación hacia la izquierda.

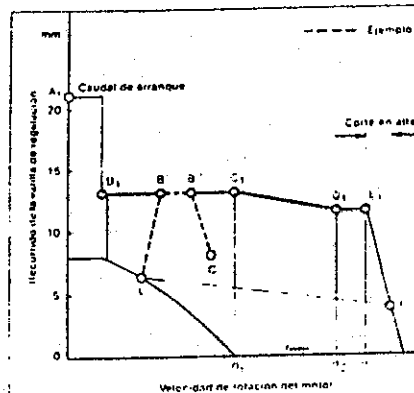
Los pesos centrífugos tienden, pues, a desplazar la varilla de regulación en la dirección de plena carga; pero, como la varilla de regulación, toca el tope de plena carga y ya no puede ceder en esta dirección, el resorte está sobrecargado. En este caso, el conductor está obligado a pasar a una marcha inferior.

En cuesta abajo ocurre lo contrario. El motor es accionado y acelerado por el vehículo. Como consecuencia, los pesos centrífugos se desplazan hacia afuera y la varilla de regulación se mueve hasta el tope en la dirección de stop. Si la velocidad de rotación aumenta todavía más (la varilla de regulación se encuentra en la posición de stop) el resorte compensador se comprime en el sentido opuesto.

El comportamiento del regulador arriba descrito es en principio válido para todas las posiciones de la palanca de mando, cuando la carga o la velocidad del motor varía tanto, por una razón cualquiera, que la varilla de regulación toca sus posiciones extremas de plena carga o de stop.

Figura 60. Regulador de todo régimen RQV (carga del motor)

Curvas características del regulador RQV



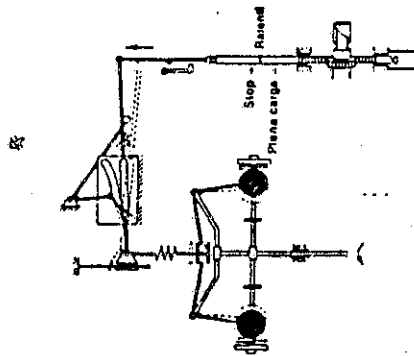
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Asimilación: la asimilación tiene lugar entre $n1$ y $n2$ (Fig. 60) en caso de plena carga a lo largo de la línea C1-D1.

En el regulador RQV, el dispositivo de asimilación está montado en el tope de la varilla de regulación.

Corte en alta: el corte en alta E1-F1 comienza cuando el motor sobrepasa su velocidad máxima. Los pesos centrifugos se desplazan hacia afuera y la varilla de regulación se mueve en la dirección de stop. La velocidad máxima de ralenti $n10$ se alcanza cuando el motor ya no se somete a ninguna carga.

Figura 61. Regulador de todo régimen RQV (corte en alta)



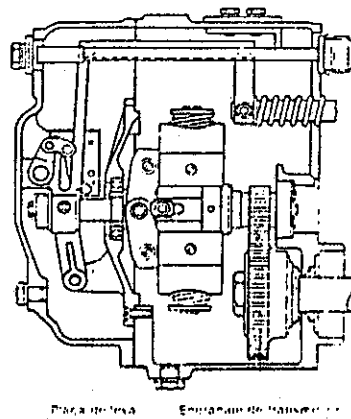
Regulador RQV - Regulación de la velocidad máxima a plena carga

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

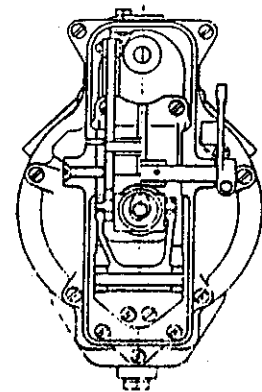
3.1.4.5. Regulador de todo régimen RQUV

El regulador RQUV se emplea para regular velocidades de rotación muy bajas, por ejemplo, las que se presentan en motores de embarcaciones. Es una variante del regulador RQV. Existe con dos relaciones de desmultiplicación diferentes (1:2 y 1:3,76 Aprox.) entre el árbol de levas impulsor de la bomba de inyección y el cubo de regulador. Como en el regulador RQV, la relación de desmultiplicación de la palanca de regulación es variable (de 1:1,85 a 1:7) El regulador RQUV puede emplearse para las bombas de inyección PE..P y PE. .ZW. El funcionamiento y el comportamiento en servicio son los mismos que del regulador RQV, pero, sin caudal de arranque.

Figura 62. Regulador de todo régimen RQUV



Regulador de todo régimen RQUV



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.4.6. Regulador de todo régimen RQV .. K

El regulador RQV-K posee, en principio, el mismo sistema de medición que el regulador RQV, con los resortes de regulación montados en los pesos centrífugos. Se diferencia, principalmente, en el modo de la asimilación.

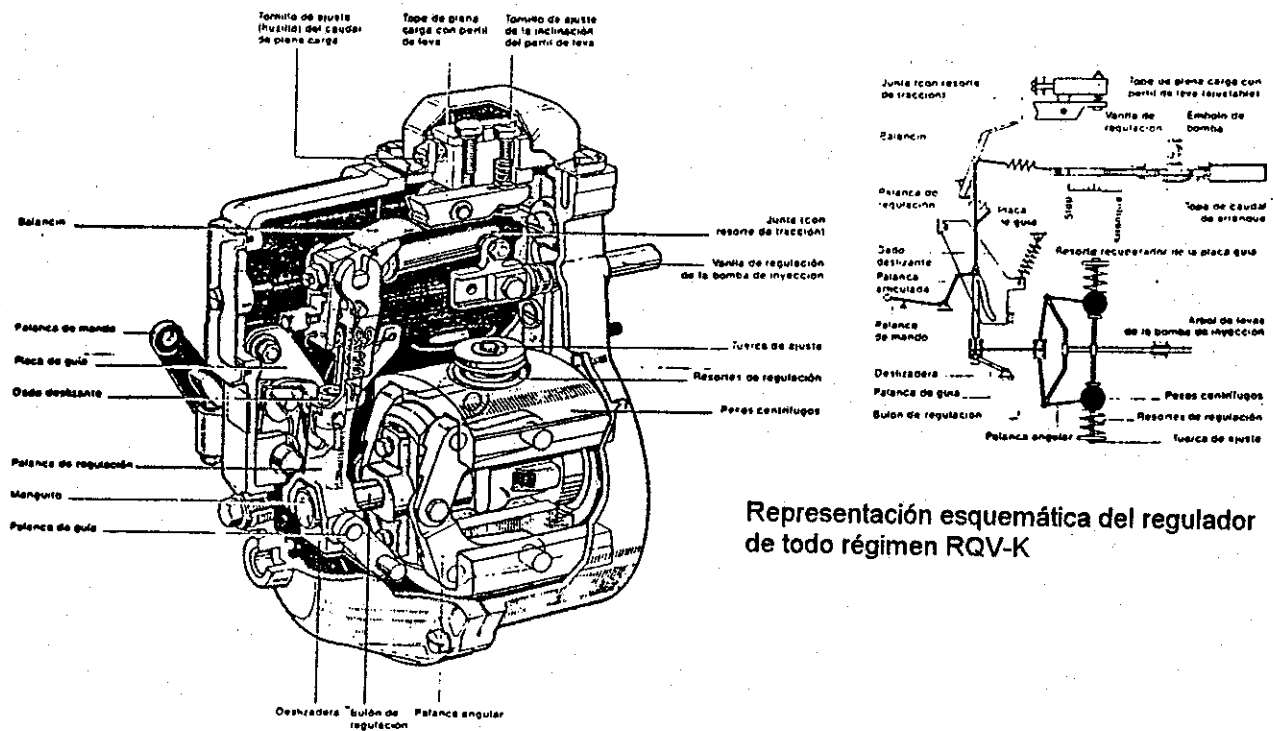
Mientras que en los otros reguladores la asimilación se basa prácticamente en una determinada reducción del caudal de suministro a plena carga y a velocidad creciente, el regulador del tipo RQV-K permite aumentar y también disminuir el caudal suministrado a plena carga.

El regulador RQV-K asegura la asimilación del modo siguiente: un balancín situado en el extremo superior de la palanca de regulación detecta un perfil de leva en el tope de plena carga, designado para reflejar la variación de las necesidades de combustible del motor. La junta que constituye la unión entre la palanca de regulación y la varilla de regulación transmite este movimiento a esta última. Como consecuencia, se obtiene un caudal de suministro de plena carga correspondiente al curso del par motor deseado.

El caudal de suministro puede ser aumentado o, también, disminuido en función del perfil de la leva.

Para ajustar el caudal de suministro, el tope de plena carga puede ser desplazado en el sentido longitudinal por medio del tornillo de ajuste; con ayuda del mismo tornillo puede modificarse también la inclinación del perfil de leva y con ésta la pendiente de la curva de asimilación.

Figura 63. Regulador de todo régimen RQV .. K



Representación esquemática del regulador de todo régimen RQV-K

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

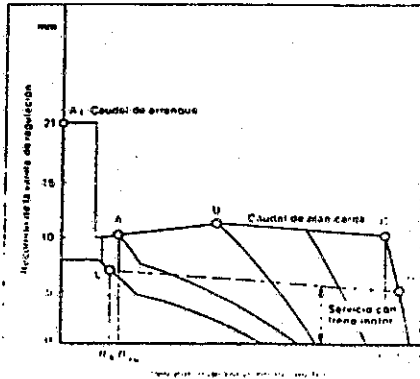
Comportamiento de servicio.

Paro del motor: la palanca de mando toca el tope de stop y la varilla de regulación se encuentra en la posición de stop.

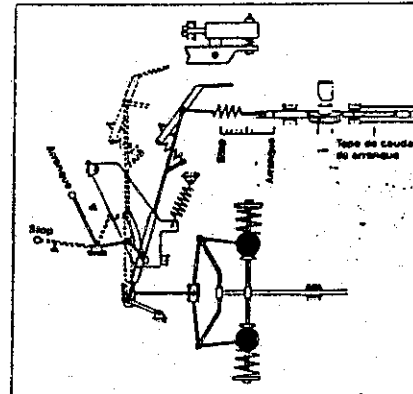
Arranque del motor: (Fig. 64) llevar la palanca de mando del regulador a la posición de velocidad máxima. El balancín gira entonces, por completo, debajo del tope de plena carga y la varilla de regulación pasa a la posición de caudal de arranque A1 (Fig. 64) En la bomba de inyección hay un tope del caudal de arranque.

Figura 64. Regulador de todo régimen RQV .. K (arranque de motor)

Curvas características del regulador RQV-K



Regulador RQV-K - Posición de arranque



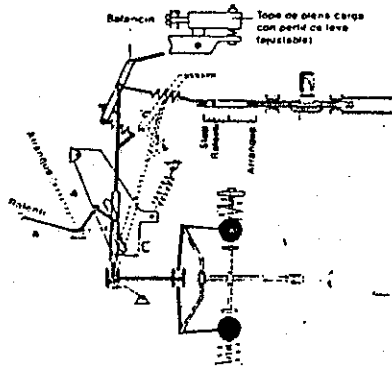
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Después de conectar el motor de arranque, la bomba de inyección inyecta en el motor, por intermedio del inyector, la cantidad de combustible necesaria para el arranque (caudal de arranque).

Ralenti: una vez que el motor ha arrancado, la palanca de mando es llevada a la posición de ralenti. Al mismo tiempo, el balancín elástico regresa debajo del tope de plena carga hasta la posición de ralenti. El motor gira entonces a la velocidad de ralenti.

Figura 65. Regulador de todo régimen RQV .. K (ralenti)

Regulador RQV-K - Posición de ralenti



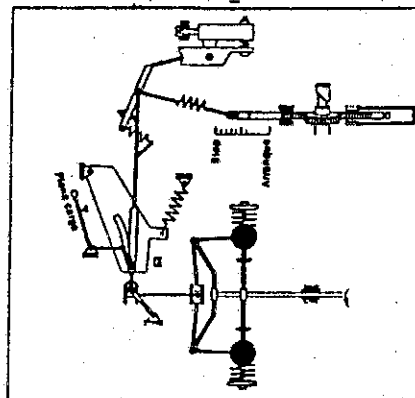
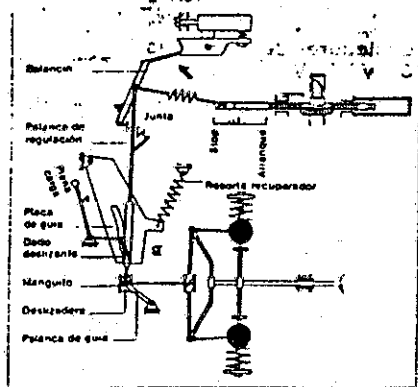
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Caudal de plena carga a bajo régimen: si, por ejemplo, se lleva la palanca de mando de la posición de ralenti a la velocidad máxima, el dado deslizante se desplaza sobre el perfil de la placa de guía y, simultáneamente, en la guía de la palanca de regulación hacia abajo. Al mismo tiempo, la palanca de regulación por intermedio de la junta, en la dirección de plena carga. El caudal de suministro y la velocidad del motor aumentan.

Los pesos centrífugos se desplazan hacia afuera y el manguito se mueve ligeramente hacia la derecha. Como consecuencia, tiene lugar un movimiento de giro; la palanca de guía y la de regulación son levantadas, de modo que el balancín se desliza sobre el perfil de leva del tope de plena carga (A-B sobre la característica, Fig. 66).

Al desplazarse hacia abajo la deslizadera en la guía de la palanca de regulación, la placa de guía ha sido levantada de su tope en el cárter, venciendo la fuerza del resorte recuperador.

Figura 66. Regulador de todo régimen RQV .. K (caudal de plena carga a bajo régimen



Regulador RQV-K - Caudal de plena carga a bajo régimen. Comienzo de la asimilación negativa.

Regulador RQV-K - Caudal de plena carga a régimen medio: inversión de la asimilación.

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Con asimilación: cuando la velocidad continúa aumentado, los pesos centrífugos se mueven más hacia afuera y el balancín se desplaza sobre el perfil de leva del tope de plena carga. Hasta el punto B en que la curva cambia de dirección se produce una asimilación con un aumento del caudal de suministro de plena carga a velocidad creciente (asimilación negativa) y, después del punto de inversión, una asimilación con una disminución del caudal de suministro de plena carga (asimilación positiva, BC sobre la característica, Fig. 66.)

Fin de la asimilación: cuando comienza el corte del caudal al fin de la asimilación, la placa de guía toca de nuevo el tope en el cárter.

Si la velocidad continúa aumentando, la regulación de la velocidad máxima comienza (corte en alta) Los pesos centrífugos se mueven más hacia afuera y el manguito se desplaza correspondientemente hacia la derecha. Como consecuencia, la parte superior de la palanca de regulación gira alrededor del fulcro en el dado deslizante hacia la izquierda. La varilla de regulación se desplaza en dirección de stop (C-D sobre la característica, Fig. 66)

En servicio, a cada posición de la palanca de mando corresponde una gama de velocidades de rotación bien determinada, mientras el motor no sea sobrecargado ni accionado por el vehículo en una cuesta abajo. Si sólo aumenta la carga aplicada al motor, por ejemplo, al subir una pendiente, la velocidad del motor y del regulador, disminuye. Como consecuencia, los pesos centrífugos se mueven hacia adentro y desplazan la varilla de regulación en la dirección de plena carga; con ello se mantiene la velocidad del motor, determinada por la posición de la palanca de mando (o del pedal acelerador). Si la carga (= inclinación de la pendiente) es empero tan grande que la varilla de regulación se desplaza hasta el tope de plena carga, pero, la velocidad de rotación disminuye, los pesos centrífugos se juntan aún más en función de esta velocidad y desplazan el manguito más en la dirección de plena carga.

No obstante, como la varilla de regulación ya no puede ceder en la dirección de plena carga, la parte inferior de la palanca de regulación se

desplaza hacia la izquierda venciendo la resistencia del resorte recuperador de la placa de guía, levantando ésta de su tope.

En cuesta abajo sucede lo contrario: el motor es accionado y acelerado por el vehículo. Como consecuencia, los pesos centrífugos se mueven hacia afuera y la varilla de regulación se desplaza en la dirección de stop. Si la velocidad continúa aumentando (la varilla de regulación en la posición de stop) la junta elástica, que une la palanca de regulación con la varilla de regulación, cede. Si el conductor frena un poco o cambia a una marcha superior, la junta se corta de nuevo a su longitud normal.

El comportamiento del regulador arriba descrito es, en principio, válido para todas las posiciones de la palanca de mando, si la carga o la velocidad del motor varían tanto, por una razón cualquiera, que la varilla de regulación se mantiene en sus posiciones extremas de plena carga o de stop.

Regulación de las velocidades de rotación medias: los grupos de curvas características, por ejemplo: en B muestran las posibilidades de regular las velocidades de rotación intermedias.

3.1.4.7. Reguladores de escalones RQV y RQUV

El regulador de escalones es una variante del regulador de todo régimen, en la que un margen determinado de velocidades de rotación permanece sin regular. Según el modelo, este margen puede estar situado inmediatamente después del ralenti o comenzar a una velocidad media y llegar hasta la velocidad máxima. En el resto del margen de velocidades, el

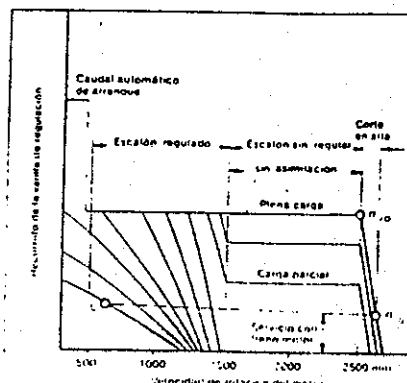
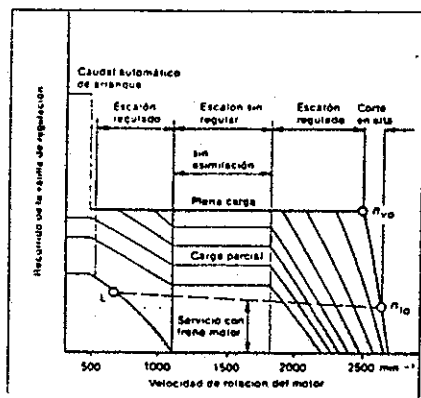
regulador de escalones asegura la regulación de todas las velocidades ajustadas con la palanca de mando. Las curvas características muestran el margen sin regular.

La construcción del regulador de escalones difiere de la concepción del regulador de todo régimen únicamente en la elección de resortes de regulación diferentes.

Figura 67. Reguladores de escalones RQV y RQUV

Curvas características del regulador de escalones. Margen inferior de velocidades de rotación sin regular

Curvas características del regulador de escalones. Margen superior de velocidades de rotación sin regular



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.4.8. Regulador de todo régimen EP/RSV

Construcción.

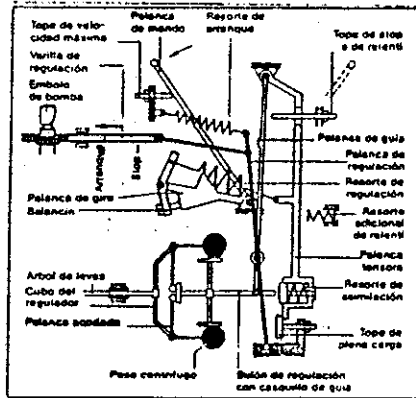
El regulador EP/RSV es diferente en su construcción, del modelo comparable RQV. Tiene un solo resorte de regulación que es girable. Al ajustar la velocidad de rotación por medio de la palanca de mando, la posición y la tensión de ese resorte varía, de tal manera, que el momento de giro efectivo en la palanca tensora se encuentra en equilibrio con el momento de giro producido por las fuerzas centrífugas a la velocidad de rotación deseada. Todos los ajustes efectuados en la palanca de mando y los recorridos de los pesos centrífugos son transmitidos a la varilla de regulación por el varillaje de regulación.

El resorte de arranque, colgado en el extremo superior de la palanca de regulación, tira de la varilla de regulación a la posición de arranque; con ello, el caudal de arranque se ajusta, automáticamente.

El tope de plena carga y el dispositivo de asimilación están montados en el regulador. El resorte adicional de ralenti con tornillo de ajuste, montado en la tapa del regulador, sirve para estabilizar el ralenti. Con ayuda del tornillo de ajuste del resorte de regulación el estatismo puede modificarse dentro de ciertos límites. Los pesos centrífugos más ligeros son necesarios para las gamas de velocidades más elevadas. Con resortes más blandos puede elegirse un estatismo más pequeño para velocidades de rotación más bajas.

Figura 68. Regulador de todo régimen EP/RSV

Representación esquemática del regulador de todo régimen EP/RSV



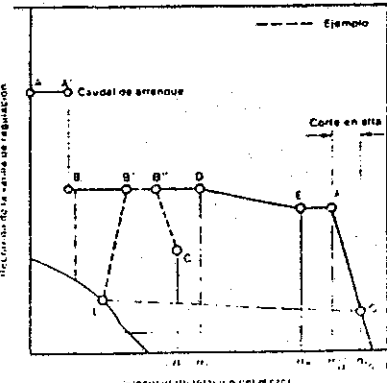
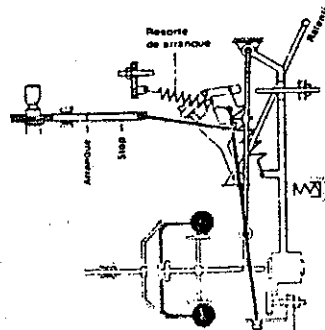
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Comportamiento en servicio.

Arranque del motor: estando el motor parado, la varilla de regulación se encuentra en la posición de caudal de arranque, de modo que el arranque puede efectuarse con la palanca de mando en la posición de ralentí.

Figura 69. Regulador de escalones RQV y RQUV

Regulador EP/RSV - Posición de arranque



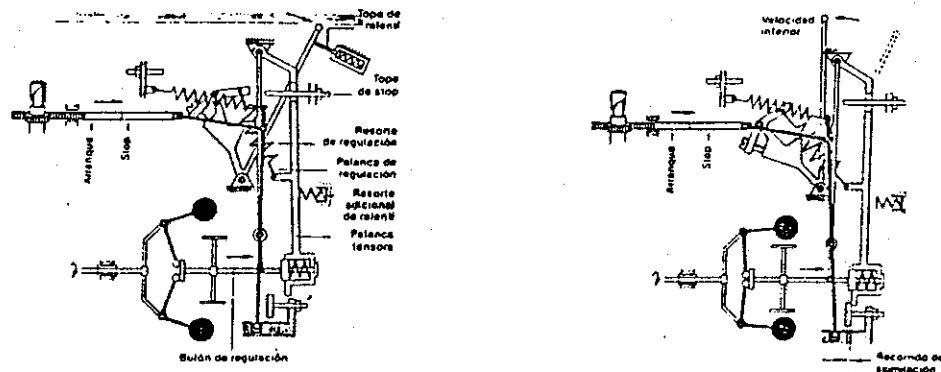
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Posición de ralenti: la palanca de mando toca el tope de ralenti. El resorte de regulación está con ello casi aflojado y se encuentra, aproximadamente, en posición vertical. Tiene una acción muy suave, de modo que, incluso, a velocidades bajas, los pesos centrífugos pueden desplazarse hacia afuera. Como consecuencia, el bulón de regulación se desplaza hacia la derecha y tira de la palanca de guía. Ésta gira la palanca de regulación hacia la derecha, de modo que la varilla de regulación llega en la dirección de stop a la dirección de ralenti (A). La palanca tensora se apoya en el resorte adicional de ralenti, que coadyuva la regulación de ralenti.

Regulación de velocidades inferiores: (Fig. 70) un desplazamiento, relativamente pequeño de la palanca de mando hasta más allá de la posición de ralenti, basta para desplazar la varilla de regulación desde su posición inicial (punto L) hasta la plena carga (punto B').

La bomba de inyección suministra el caudal de plena carga a los cilindros del motor y la velocidad aumenta (B'B) En cuanto a la fuerza centrífuga, sobrepasa la tensión del resorte de regulación determinada por la posición de la palanca de mando, los pesos centrífugos se mueven hacia afuera y hacen retroceder el casquillo de guía, el bulón de regulación, la palanca de regulación y la varilla de regulación, hasta la posición de caudal de suministro pequeño (punto C en el diagrama) La velocidad del motor deja de aumentar y, si las condiciones no varían, es mantenida estable por el regulador.

Figura 70. Regulador de velocidades inferiores



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Si se lleva la palanca de mando a la posición de la velocidad máxima, el regulador trabaja siempre de la forma antes descrita. En efecto, la palanca giratoria tensa por completo el resorte de regulación. Como consecuencia, éste tira con mayor fuerza de la palanca tensora hasta el tope de plena carga y la varilla de regulación a la posición de plena carga. El motor acelera y la fuerza centrífuga aumenta de manera continua.

En los reguladores con dispositivos de asimilación, en cuanto la palanca tensora toca el tope de plena carga, el resorte de asimilación es comprimido continuamente al aumentar la velocidad (DE en el diagrama). La palanca de guía, la palanca de regulación y la varilla de regulación se desplazan correspondientemente en la dirección de stop y {asimilan} el caudal de suministro, el decir, lo aminoran de forma correspondiente al recorrido de asimilación.

Al alcanzar la velocidad de rotación máxima de plena carga n_{vo} , la fuerza centrífuga vence la fuerza de tensión del resorte de regulación y la

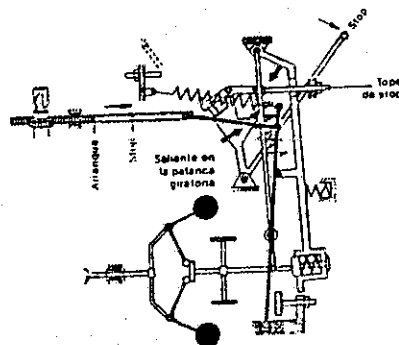
palanca tensora cede hacia la derecha. El bulón de regulación con la palanca de guía y la varilla de regulación acoplada a través de la palanca de regulación se mueven en la dirección de stop (F-G en el diagrama) hasta que se ajusta un caudal de inyección reducido en función del nuevo estado de carga.

Al anular por completo la carga del motor, éste alcanza la velocidad máxima de ralenti **n10**.

Parada de motor.

a) Con ayuda de la palanca de mando: (Fig. 71) los motores equipados con reguladores sin dispositivo de parada especial, se paran, llevando la palanca de mando del regulador a la posición de stop. Los salientes de la palanca giratoria (flechas oblicuas) empujan la palanca de guía, ésta gira hacia la derecha y arrastra consigo la palanca de regulación y, con ésta, la varilla de regulación hacia stop. Los resortes de regulación dejan de actuar sobre el bulón de regulación y los pesos centrífugos se desplazan hacia afuera.

Figura 71. Parada de motor con palanca de mando

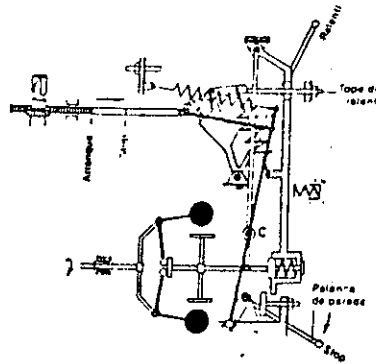


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

b) Con ayuda de la palanca parada: (Fig. 72) en los reguladores equipados con un dispositivo de parada especial, la varilla de regulación puede llevarse a la posición de stop desplazando la palanca de parada a la posición de stop.

Al empujar la palanca de parada hacia stop, la parte superior de la palanca de regulación gira hacia la derecha alrededor del fulcro C de la palanca de guía. Por intermedio de la junta, la varilla de regulación es tirada hacia la dirección de stop. Un resorte recuperador no representado en la figura, hace retroceder la palanca de parada, al soltarla a su posición inicial.

Figura 72. Parada de motor con palanca parada



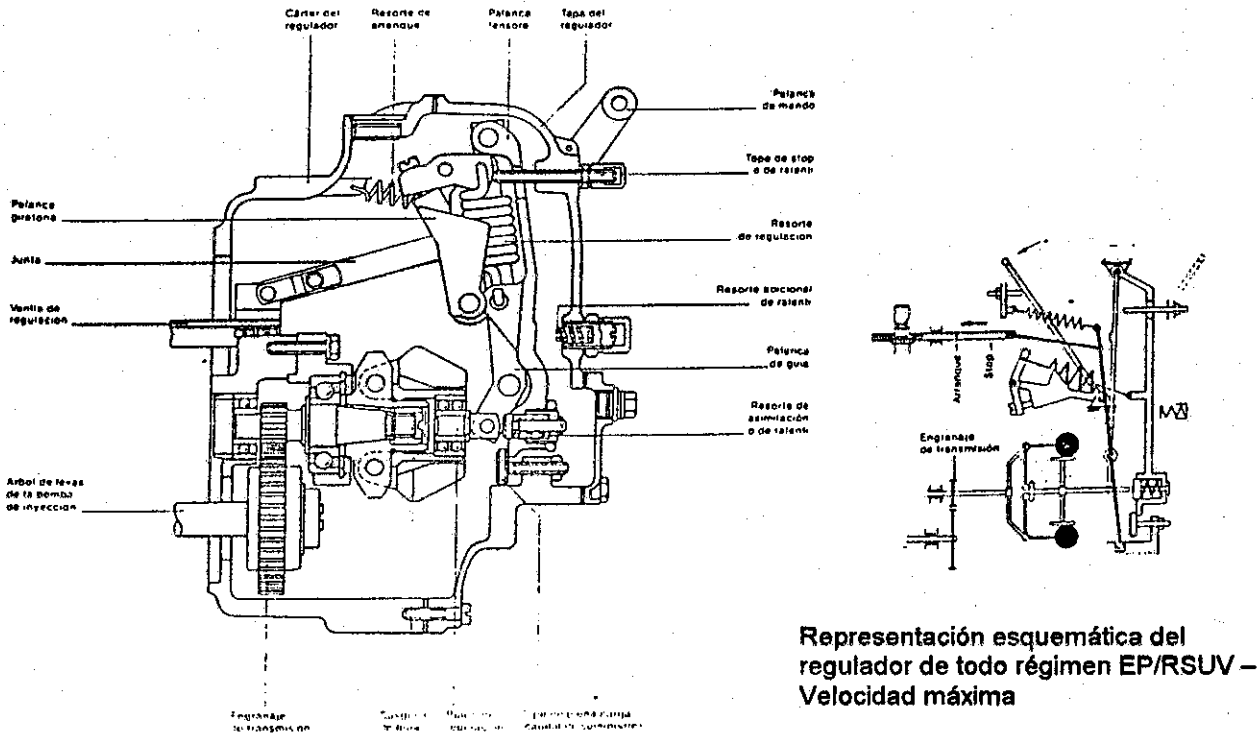
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.1.4.9. Regulador de todo régimen EP/RSUV

El regulador RSUV se utiliza para regular velocidades de rotación muy bajas, por ejemplo en los motores lentos para embarcaciones. Su construcción se diferencia, principalmente, de la del regulador EP/RSV por el engranaje de desmultiplicación montado entre el árbol de levas, impulsor de la bomba de

inyección y el cubo del regulador. El principio de funcionamiento es el mismo. Se emplea para bombas de inyección del tamaño P y Z.

Figura 73. Regulador de todo régimen EP/RSUV



Representación esquemática del regulador de todo régimen EP/RSUV – Velocidad máxima

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

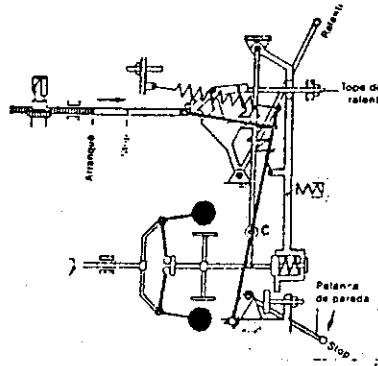
3.1.4.10 Regulador de máxima y mínima EP/RS

Construcción.

El regulador de máxima y mínima EP/RS, derivado de todo régimen EP/RSV, posee una palanca de mando sometida a fuerzas pequeñas. En el regulador EP/RSV, la palanca de mando tensa el resorte de regulación y con ello, ajusta la velocidad de rotación. En el modelo actual del EP/RS, al

contrario, la palanca de mando es bloqueada en la posición de velocidad máxima por un tope regulable situado en la tapa del regulador. Es posible también ajustar una velocidad intermedia, por ejemplo, para vehículos equipados con toma de fuerza auxiliar.

Figura 74. Regulador de máxima y mínima EP/RS



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

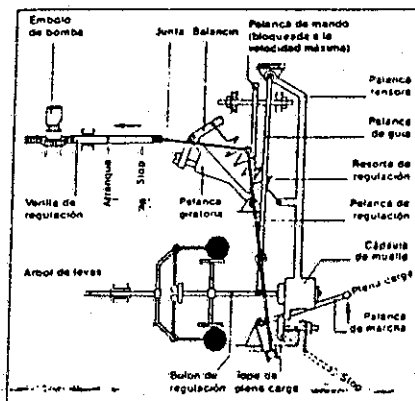
La palanca de parada utilizada en el regulador EP/RSV sirve de palanca de aceleración (pedal) en el EP/RS, con la dirección de accionamiento invertida. Para la regulación de la velocidad de ralenti hay en la cápsula de muelle, además del resorte de asimilación, un resorte adicional de ralenti; éste lleva la varilla de regulación a la posición del caudal de arranque y sirve para regular el ralenti. El tornillo de tope de ralenti y el resorte adicional de ralenti, montados en el regulador EP/RSV no se montan en este regulador.

Comportamiento en servicio.

Posición de arranque: llevar la palanca de marcha a la posición de plena carga. El resorte de ralenti alojado en la cápsula de muelle empuja la varilla de regulación a la posición de arranque, por intermedio de regulación, de la palanca de guía, de la palanca de regulación y de la junta.

Figura 75. Regulador EO/RS – Posición de arranque

Regulador EP/RS - Posición de ralenti

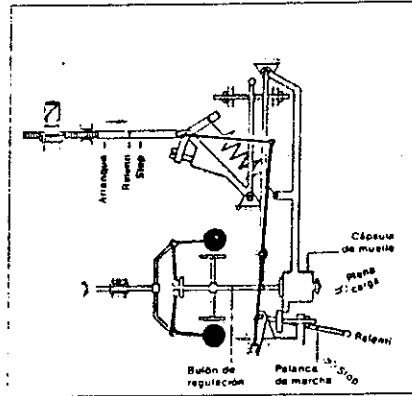


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Posición de ralenti: después de arrancar el motor, se lleva la palanca de marcha a la posición de ralenti. El resorte de ralenti montado en la cápsula de muelle actúa a través del bulón de presión, sobre el bulón de regulación y regula, así, el ralenti.

Figura 76. Regulador EP/RS – Posición de ralenti

Regulador EP/RS - Posición de ralenti

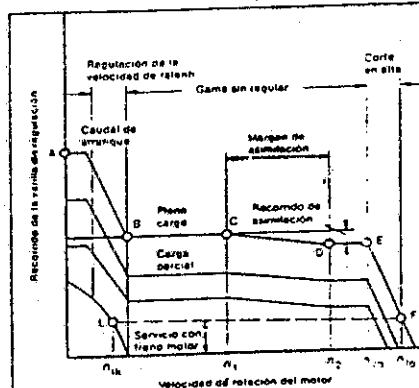


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Carga del motor: (entre la velocidad de ralenti y la máxima) la gama B-E (Fig. 77) no es regulada. El conductor regula al caudal de suministro de forma correspondiente al par motor necesario, con el pedal acelerador. Si desea acelerar el vehículo o subir una pendiente, tiene que "dar más gas"; al contrario, deja retroceder el pedal acelerador, si se necesita una potencia motriz menor.

En el tramo C-D, entre las gamas de velocidades n_1 y n_2 tiene lugar una asimilación del caudal de suministro, porque la fuerza centrífuga actuante sobre el bulón de regulación sobrepasa la fuerza del resorte de asimilación montado en la cápsula de muelle. El resorte de asimilación cede en función de regulación y la palanca de regulación desplaza la varilla de regulación en la dirección de stop, en un valor correspondiente al recorrido de asimilación.

Figura 77. Curvas características del regulador EP/RS

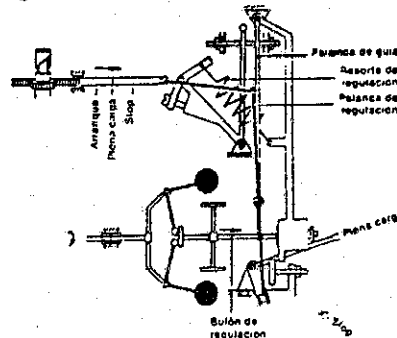


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Regulación de la velocidad máxima a plena carga: (Fig. 78) la palanca de marcha se encuentra en la posición de plena carga y el motor gira a la velocidad máxima n_{vo} . La fuerza centrífuga sobrepasa, entonces, la fuerza del resorte de regulación. Como consecuencia, el bulón de regulación y la palanca de guía se desplazan hacia la derecha. La palanca de regulación tira de la varilla de regulación en la dirección de stop. Al anular por completo la carga del motor, éste alcanza la velocidad máxima de ralentí n_{10} E-F.

Figura 78. Regulación de la velocidad máxima a plena carga

Regulador EP/RS - Regulación de la velocidad máxima a plena carga, comienzo del corte de caudal

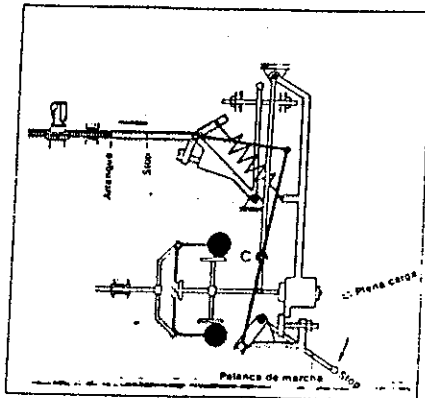


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

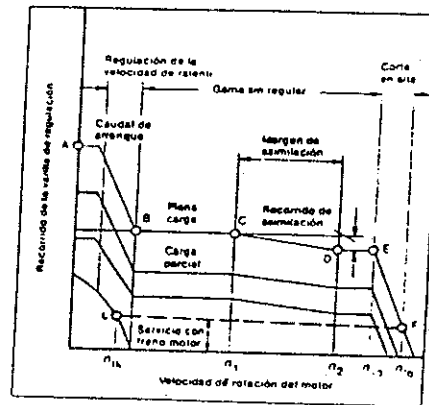
Parada de motor: Llevar la palanca de marcha a la posición de stop. La palanca de regulación gira alrededor del punto de articulación C y tira de la varilla de regulación hasta stop. Los pesos centrífugos se desplazan hacia adentro.

Figura 79 Parada de motor

Regulador EO/RS - Parada (stop)



Curvas características del regulador EP/RS



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2 Bomba rotativa Bosch

Gracias a la flexibilidad, las bombas rotativas de inyección del tipo VE ofrecen un gran número de posibilidades de aplicación. El campo de aplicación y el diseño de la bomba viene determinado por el régimen real, la potencia y el tipo de construcción del motor Diesel. Las bombas de inyección rotativas se emplean, sobre todo, en automóviles de turismo, camiones, tractores y motores estacionarios.

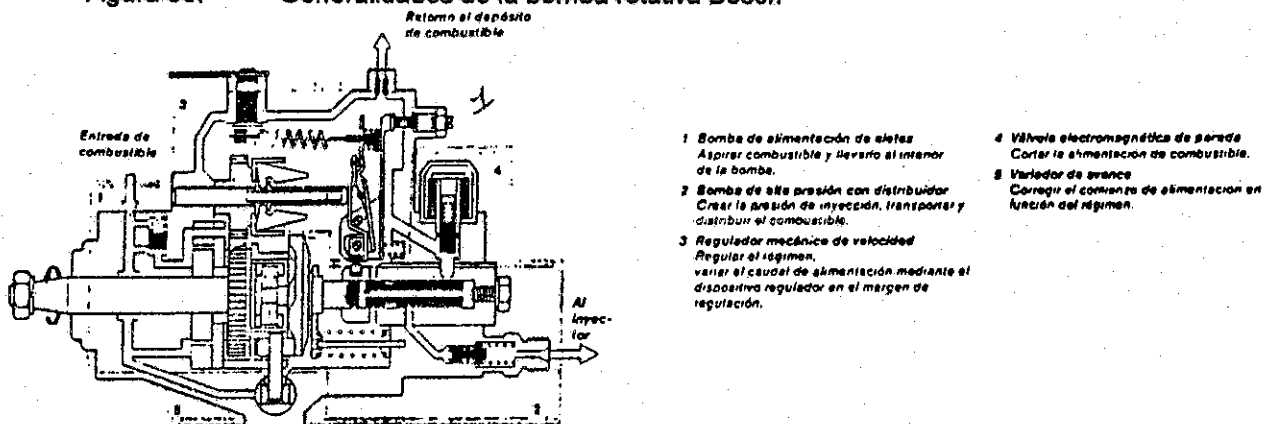
3.2.1. Generalidades.

A diferencia de la bomba de inyección en línea, la rotativa del tipo VE no dispone más que de un solo cilindro y un solo émbolo distribuidor, aunque el motor sea de varios cilindros. La lumbrera de distribución asegura el reparto, entre las diferentes salidas correspondientes al número de cilindros del motor, del combustible alimentado por el émbolo de la bomba. En el cuerpo cerrado de la bomba rotativa de inyección se encuentran reunidos los siguientes grupos:

- Bomba de alta presión con distribuidor
- Regulador mecánico de velocidad
- Variador de avance hidráulico
- Bomba de alimentación de aletas
- Dispositivo de parada.

La figura 80 muestra los diferentes grupos funcionales y su interacción.

Figura 80. Generalidades de la bomba rotativa Bosch



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

La bomba rotativa de inyección también puede estar equipada con diferentes dispositivos correctores, que permiten la adaptación individual a las características especificadas del motor Diesel. La utilización, construcción y funcionamiento de estos dispositivos.

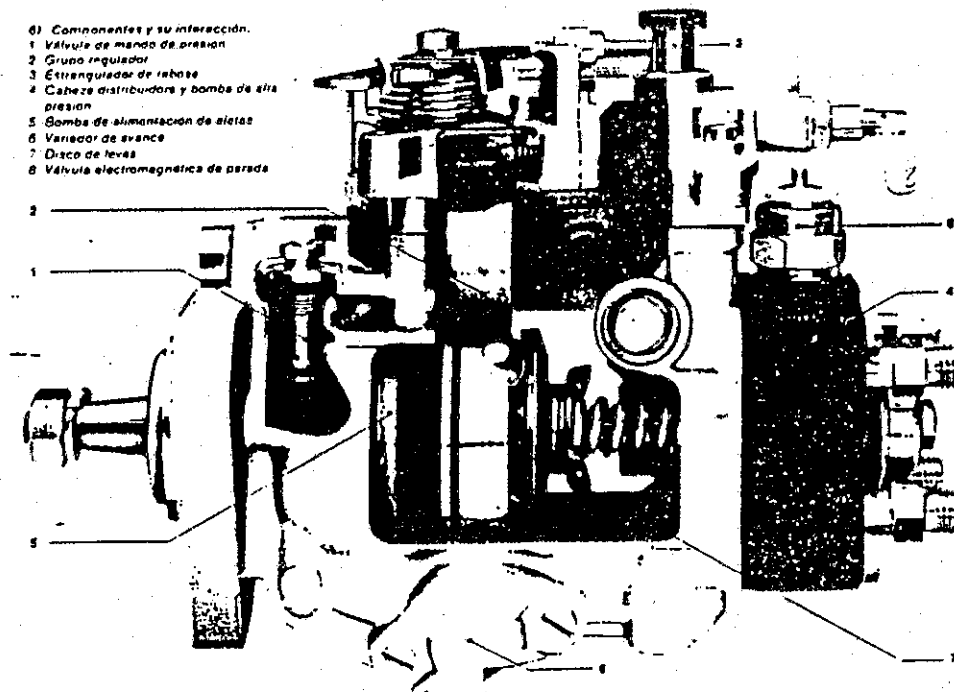
3.2.2. Alimentación de baja presión.

En las instalaciones de inyección con bombas rotativas de inyección, el combustible es aspirado del depósito mediante la bomba de alimentación de aletas y transportado al interior de la bomba de inyección.

La bomba de alimentación, al girar, transporta un caudal de combustible casi constante. Para obtener en el interior de la bomba una presión determinada en función del régimen, se necesita una válvula de control de presión que permita ajustar una presión definida a un determinado régimen. La presión aumenta, entonces, proporcionalmente al régimen, es decir, cuanto mayor sea éste, tanto más elevada será la presión en el interior de la bomba.

Una parte del caudal de combustible transportado, retorna, a través de la válvula de control de presión, al lado de aspiración. Asimismo, para la refrigeración y autopurga de aire de la bomba rotativa de inyección, el combustible fluye al depósito a través del estrangulador de rebose dispuesto en la tapa del regulador.

Figura 81. Alimentación de baja presión



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2.3. Bomba de alimentación de aletas

En la bomba rotativa de inyección va montada la de alimentación de aletas en torno al eje de accionamiento. El rotor de aletas está centrado sobre el eje y es accionado por una chaveta de disco. El rotor de aletas está rodeado por un anillo excéntrico alojado en el cuerpo.

Las cuatro aletas del rotor son presionadas hacia el exterior, contra el anillo excéntrico, por efecto del movimiento de rotación y de la fuerza centrífuga resultante. A este movimiento centrífugo de las aletas contribuye el combustible que se introduce entre el lado inferior de la aleta y el rotor. El

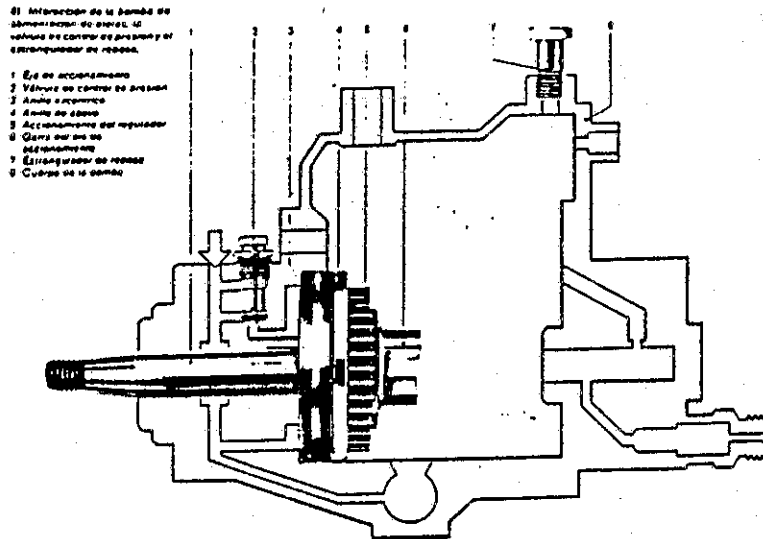
combustible llega al cuerpo de la bomba de inyección a través del canal de alimentación y pasa por una abertura en forma de riñón, a la cámara delimitada por el rotor, la aleta y el anillo excéntrico. Por efecto de la rotación, el combustible que se encuentra entre las aletas, es transportado hacia el recinto superior y penetra en el interior de la bomba a través de un taladro. Al mismo tiempo, a través de un segundo taladro, una parte del combustible llega a la válvula de control de presión.

La válvula de control de presión va unida a través de un taladro con la escotadura superior en forma de riñón y situada en las proximidades de la bomba de alimentación de aletas. La válvula de control de presión es corredera, tirada por resorte, con la que se puede variar la presión en el interior de la bomba, según el caudal de combustible que se alimente. Si la presión de combustible excede un determinado valor, el émbolo de la válvula abre el taladro de retorno, de forma que el combustible pueda retornar a través de un canal al lado de aspiración de la bomba de aletas. Si la presión del combustible es demasiado baja, el taladro de retorno permanece cerrado debido a la fuerza al muelle. La presión de apertura la determina la tensión previa del muelle de compresión.

El estrangulador de rebose va roscado a la tapa del regulador de la bomba rotativa de inyección y comunica con el interior de la bomba, permitiendo el retorno de un caudal variable al depósito de combustible, a través de un pequeño orificio (diámetro 0,6 mm) El taladro ofrece resistencia al combustible, por lo que se mantiene la presión en el interior de la bomba. Como en el recinto interior de la bomba se necesita una presión de combustible exactamente definida de acuerdo con el régimen, el estrangulador de rebose y

la válvula de control de presión están coordinados entre sí en lo que al funcionamiento se refiere.

Figura 82. Bomba de alimentación de aletas



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2.4. Accionamiento del émbolo distribuidor

El movimiento de rotación del eje impulsor se transmite al émbolo distribuidor por medio de un acoplamiento. Las garras del eje impulsor y del disco de levas engranan en el disco cruceta dispuesto entre ellas. Por medio del disco de levas, el movimiento giratorio del eje impulsor se convierte en un movimiento de elevación y giro. Esto se debe a que la trayectoria de las levas del disco discurre sobre los rodillos del anillo. El émbolo distribuidor es solidario del disco de levas por medio de una pieza de ajuste y está coordinado por un arrastrador. El desplazamiento del émbolo distribuidor hacia el punto muerto superior está asegurado por el perfil del disco de levas. Los dos

muelles antagonistas del émbolo, dispuestos, simétricamente, que reposan sobre la cabeza distribuidora y actúan sobre el émbolo distribuidor a través de un puente elástico, los cuales provocan el desplazamiento del émbolo hacia el punto muerto inferior. Además, dichos muelles impiden que el disco de levas pueda saltar, a causa de la elevada aceleración de los rodillos del anillo. Para que el émbolo distribuidor no pueda salirse de su posición central a causa de la presión centrífuga se ha determinado con precisión la altura de los muelles antagonistas del émbolo que están perfectamente coordinados.

3.2.5. Discos de levas y formas de leva

Además de la función motriz del eje impulsor, el disco de levas influye sobre la presión de inyección y sobre la duración de ésta. Los criterios determinantes a este respecto son la carrera y la velocidad de elevación de la leva. Según la forma de la cámara de combustión y el método de combustión de los distintos tipos de motor, las condiciones de inyección deberán producirse de forma individualmente coordinadas. Por esta razón para cada tipo de motor se calcula una pista especial de levas que, luego, se coloca sobre la cara frontal del disco de levas. El disco así configurado se monta, acto seguido, en la correspondiente bomba rotativa de inyección. Por eso, los discos de levas de las distintas bombas de este tipo, no son intercambiables entre sí.

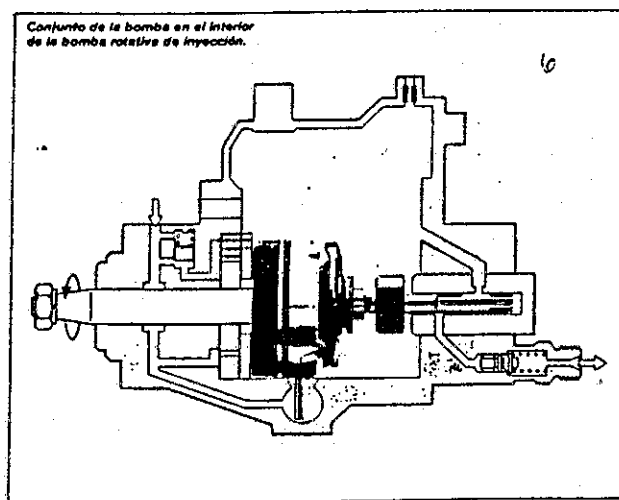
3.2.6. Conjunto de la bomba.

La cabeza y el émbolo distribuidor, así como la corredera de regulación, están tan exactamente ajustados entre sí (por rodaje) que su estanqueidad es

total, incluso, a las presiones más elevadas. Las pérdidas por fuga son ínfimas, pero, tan inevitables como necesarias para la lubricación del émbolo distribuidor.

Por esta razón, en caso de sustitución, deberá cambiarse el conjunto de bomba completa; en ningún caso, el émbolo distribuidor, la cabeza distribuidora o la corredera de regulación, por separado.

Figura 83. Conjunto de la bomba



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2.7. Dosificación de combustible

La alimentación del combustible mediante bombas de inyección es un proceso dinámico que consta de varias carreras sucesivas. La presión necesaria para la inyección se crea mediante la bomba de émbolo.

Las fases de desplazamiento del émbolo distribuidor, esquematizadas en la figura 6, corresponden a la dosificación del combustible por cada cilindro del motor. En el caso de un motor de cuatro cilindros, el émbolo distribuidor describe un cuarto de vuelta entre las posiciones del punto muerto inferior y el punto muerto superior, y, un sexto de vuelta, si se trata de un motor de seis cilindros.

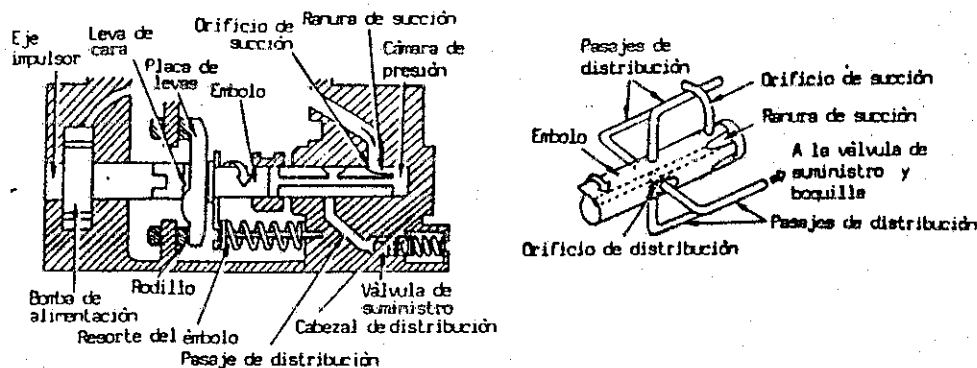
Si el émbolo distribuidor se desplaza desde el punto muerto superior al inferior, tiene lugar, gracias al movimiento alternativo y rotativo, el control del canal de entrada de la cabeza distribuidora por medio de una ranura de control del émbolo distribuidor. El combustible fluye desde el recinto interior de la bomba de inyección rotativa, sometido a la presión creada en dicho recinto y a través del canal de entrada, hasta el de alta presión situado por encima del émbolo distribuidor. Tras invertirse el sentido de desplazamiento a punto muerto inferior, el canal de entrada queda cerrado por el émbolo distribuidor, el cual continúa recibiendo un movimiento alternativo y rotativo (hacia el PMS). En el curso de este movimiento progresivo, la ranura de distribución abre un orificio de salida perfectamente determinado de la cabeza distribuidora. La presión creada en el recinto de alta presión y en el canal inferior sobre la válvula de impulsión, empuja el combustible a través del conducto de impulsión hacia el inyector montado en el portainyectores.

La carrera útil concluye en el momento en que el orificio de descarga transversal del émbolo distribuidor alcanza la rampa de distribución de la corredera de regulación (final de la alimentación). A partir de este momento ya no se alimenta combustible al inyector y la válvula de impulsión cierra el conducto. El combustible retorna a la bomba a través de la unión existente

entre el orificio de descarga y el interior de ésta, mientras el émbolo se desplaza hacia el punto muerto superior. Esta fase de desplazamiento del émbolo se llama carrera remanente.

Al retornar el émbolo, debido al movimiento de desplazamiento y giro, el orificio de descarga transversal del émbolo distribuidor se cierra, mientras que, mediante la siguiente ranura de mando, el émbolo distribuidor del canal de entrada de combustible se abre. El recinto de alta presión situado por encima del émbolo distribuidor se llena nuevamente de combustible.

Figura 84. Dosificación de combustible de la bomba Bosch



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2), Bosch. Instrucción técnica.

3.2.8. Válvula de impulsión.

La válvula de impulsión aísla el conducto de inyección de la bomba. La misión de esta válvula es descargar la tubería de inyección tras concluir la fase de alimentación, extrayendo un volumen exactamente definido. De esta forma se consigue un final de cierre preciso del inyector al finalizar la inyección. Simultáneamente y con independencia del caudal de inyección momentáneo,

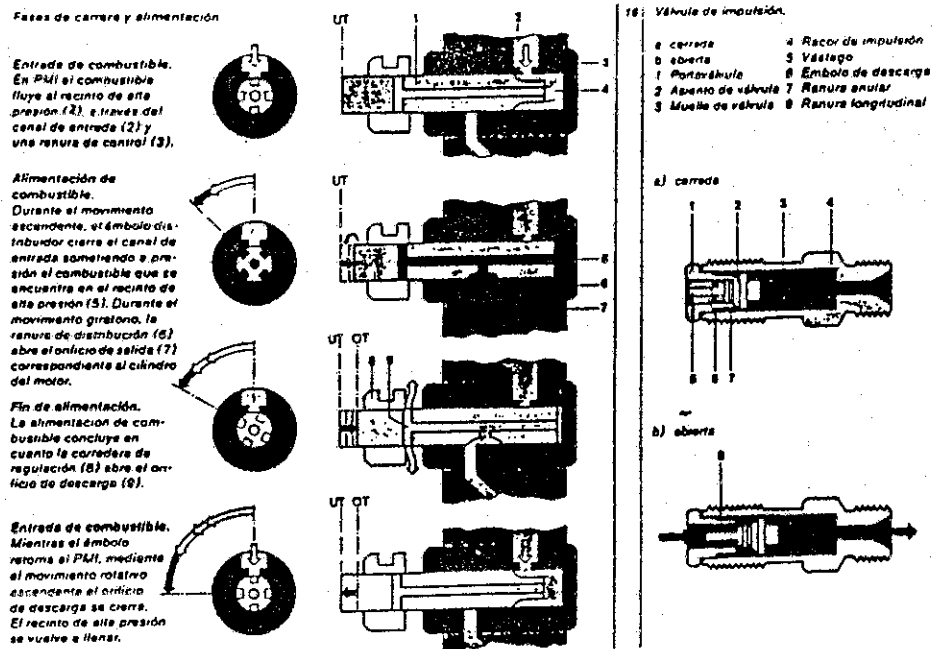
debe asegurarse el equilibrio de las presiones en el conducto de impulsión para las diferentes fases de inyección.

La válvula de impulsión es de émbolo, mandada por la acción de un líquido; abre a impulsos de la presión de combustible y cierra mediante el muelle de válvula. La válvula de impulsión permanece cerrada para un cilindro determinado del motor entre cada carrera de admisión del émbolo distribuidor.

El conducto de impulsión y el correspondiente orificio de salida de la cabeza distribuidora están separados. Cuando hay alimentación, la elevada presión que se origina levanta la válvula de impulsión de su asiento. El combustible circula por las ranuras longitudinales que parten de la ranura anular, a través del racor de impulsión, el correspondiente conducto y el portainyectores hasta llegar al inyector.

En cuanto se alcanza el final de alimentación (orificio de descarga del émbolo distribuidor abierto) el empuje en el lado de alta presión desciende hasta el valor del recinto interior de la bomba y el muelle de válvula oprime a la válvula de impulsión contra su asiento.

Figura 85. Válvula de impulsión de bomba Bosch



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2.9. Válvula de impulsión con estrangulador de retorno.

La necesaria y exacta descarga de presión al final de la inyección genera ondas de presión que son reflejadas en la válvula de impulsión y que originan la reapertura de la aguja del inyector o, bien, fases de depresión en el conducto de inyección. Las consecuencias de este fenómeno son postinyecciones con su correspondiente efecto negativo en lo que se refiere a emisión de contaminantes o, bien, se producen fenómenos de desgaste en dicho conducto o en el inyector. Para impedir estas reflexiones, por delante de la válvula de impulsión se intercala un orificio estrangulador que actúa únicamente en la dirección de retorno. El estrangulador de retorno se compone de una placa de válvula y un muelle de compresión, de forma que no

actúa en la dirección de alimentación, sin embargo, se aprecia su efecto amortiguador en la dirección de retorno.

3.2.10. Tuberías de impulsión.

En la instalación de inyección, los conductos de impulsión están adaptados al desarrollo de la inyección y no deben ser alterados cuando se realicen trabajos de mantenimiento. Las tuberías de impulsión unen la bomba de inyección a los portainyectores y van instalados sin formar ningún tipo de codos pronunciados. Su radio de curvatura no deberá ser en ningún caso inferior a 50 mm. En los motores de automóviles, las tuberías de impulsión van fijadas mediante piezas de apriete dispuestas a intervalos. Las tuberías son de acero sin soldaduras.

El variador de avance de la bomba rotativa de inyección permite adelantar el comienzo de la alimentación en relación con la posición del cigüeñal del motor y de acuerdo con el régimen para compensar los retardos de inyección e inflamación.

3.2.11. Variador de avance.

El variador de avance de la bomba rotativa de inyección permite adelantar el comienzo de la alimentación en relación con la posición del cigüeñal del motor y de acuerdo con el régimen, para compensar los retardos de inyección e inflamación. Durante la fase de alimentación de la bomba de inyección, la apertura del inyector se produce mediante una onda de presión que se propaga a la velocidad del sonido por la tubería de inyección. El tiempo

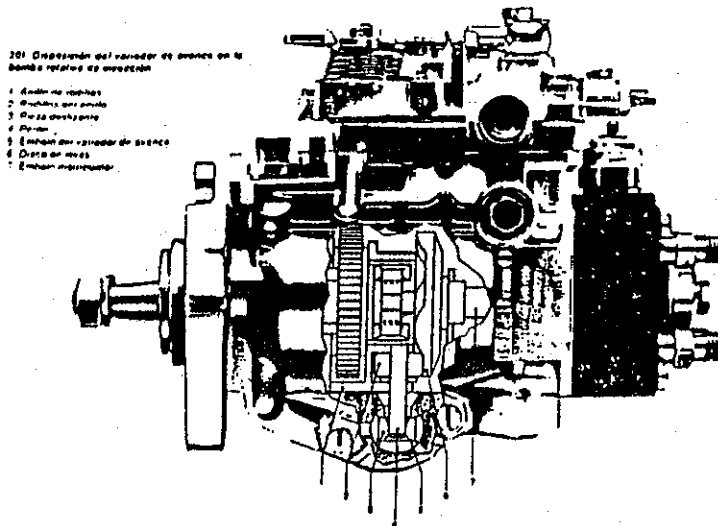
invertido en ello es independiente del régimen; sin embargo, el ángulo descrito por el cigüeñal entre el comienzo de la alimentación y el de la inyección aumenta el régimen. Esto obliga, por tanto, a introducir una corrección adelantando el comienzo de la alimentación. El tiempo de la propagación de la onda de presión lo determinan las dimensiones de la tubería de inyección y la velocidad del sonido que es de, aproximadamente, 1,500 m/seg. en el gasóleo. El tiempo necesario para ello se denomina retardo de inyección y el comienzo está por, consiguiente, retrasado respecto del comienzo de alimentación. Debido a este fenómeno, a regímenes altos, el inyector abre, en términos referidos a la posición del pistón, más tarde que a regímenes bajos.

Después de la inyección, el gasóleo necesita cierto tiempo para pasar al estado gaseoso y formar con el aire la mezcla inflamable.

Este tiempo de preparación de la mezcla es independiente del régimen del motor. El intervalo necesario para ello entre el comienzo de la inyección y de la combustión se denomina, en los motores Diesel, retraso de inflamación y depende de la inflamabilidad del gasóleo (indicada por el índice de cetano) la relación de compresión, la temperatura del aire y la pulverización del combustible. Por lo general, la duración del retraso de inflamación es del orden de 1 milisegundo. Siendo el comienzo de la inyección constante y el régimen del motor descendente, el ángulo de cigüeñal entre el comienzo de la inyección y el de la combustión va aumentando hasta que ésta última no puede comenzar en el momento adecuado, en términos relativos a la posición del pistón del motor. Como la combustión favorable y la óptima potencia de un motor Diesel sólo se consiguen con una posición determinada del cigüeñal o del pistón, a medida que aumenta el régimen debe adelantarse el comienzo de

alimentación de la bomba de inyección para compensar el desplazamiento temporal condicionado por el retraso de la inyección e inflamación. Para ello se utiliza el variador de avance en función del régimen.

Figura 86. Variador de avance de bomba Bosch

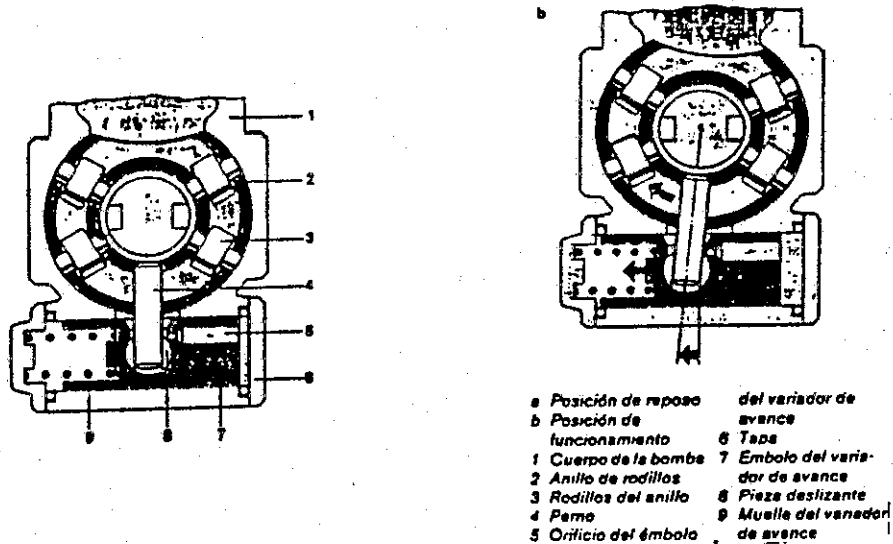


Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2.12. Construcción.

El variador de avance por control hidráulico va montado en la parte inferior del cuerpo de la bomba rotativa de inyección, perpendicular a su eje longitudinal. El émbolo del variador de avance es guiado por el cuerpo de la bomba, que va cerrado con tapas a ambos lados. En el émbolo del variador de avance hay un orificio que posibilita la entrada de combustible, mientras que en el lado contrario va dispuesto un muelle de compresión. El émbolo del variador de avance va unido al anillo de rodillos mediante una pieza deslizante y un perno.

Figura 87. Construcción de bomba Bosch



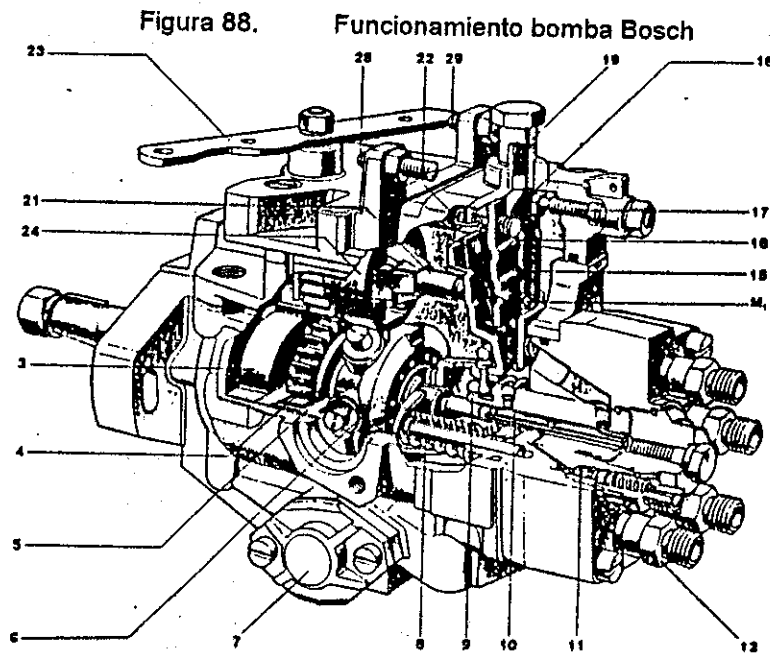
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.2.13. Funcionamiento.

La posición inicial del émbolo del variador de avance en la bomba de inyección rotativa la mantiene el muelle tarado del variador. Durante el funcionamiento, la presión del combustible en el interior de la bomba la regula en proporción al régimen, la válvula de control de presión junto con el estrangulador de rebose. Por consiguiente, la presión del combustible creada en el interior de la bomba se aplica por el lado del émbolo opuesto al muelle del variador de avance.

La presión del combustible (presión en el interior de la bomba) sólo vence la resistencia inicial del muelle y desplaza el émbolo del variador de avance, a partir de un determinado régimen ($>300 \text{ min}^{-1}$) hacia la izquierda. El movimiento axial del émbolo se transmite al anillo de rodillos montado sobre

cojinete por medio de la pieza deslizante y el perno. Esto hace que la disposición del disco de levas respecto del anillo de rodillos varíe de manera que los rodillos del anillo levanten con cierta antelación, el disco de levas en giro. El disco de levas y el émbolo distribuidor están, por tanto, desfasados en un determinado ángulo de rotación respecto del anillo de rodillos. El valor angular puede ser hasta de 12 grados de ángulo de leva (24 grados de ángulo de cigüeñal).



Nombre las partes numeradas.

- | | |
|---------------------------------|--|
| 3. Bomba de alimentación | 17. Tornillo de regulación de carga plena. |
| 4. Accionamiento del regulador | 18. Palanca de ajuste |
| 5. Anillo de rodillos | 19. Estrangulador de descarga |
| 6. Discos de levas | 21. Manguito de regulador |
| 7. Variador de avance | 22. Resorte de regulación |
| 8. Muelle de retorno del émbolo | 23. Palanca de mando |
| 9. Corredera de regulación | 24. Conjunto de masas rotantes |
| 10. Émbolo distribuidor | 28. Tornillo de regulación nominal |
| 11. Válvula de presión | 29. Tornillo de regulación marcha al ralentí |
| 12. Racor de impulsión | |
| M1. Fulcro del 18 | |
| 15. Palanca de arranque | |
| 16. Palanca tensora | |

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

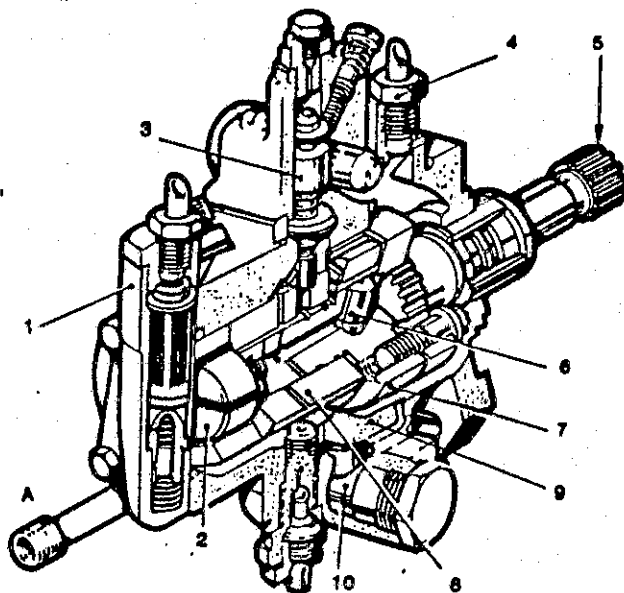
3.3 Bomba rotativa CAV

La bomba rotativa CAV se monta con brida en el motor y se impulsa mediante un eje estriado. Este tipo de bomba se puede montar horizontal o verticalmente. Las piezas se encuentran dentro de una cubierta y la presión dentro de la cubierta impide la entrada de polvo, agua y otros cuerpos extraños. En la figura 89 se ilustra una bomba en sección y se muestran sus partes principales.

Figura 89. Bomba de distribuidor CAV con gobernador hidráulico

Bomba de distribuidor DPA con gobernador hidráulico: 1 conjunto de entrada de combustible, filtro de Nylon y válvula reguladora, 2 bomba de transferencia de aspas, 3 gobernador, 4 conexión de retorno, 5 eje de impulsión, 6 émbolo de la bomba, 7 rotor, 8 cabeza hidráulica, 9 anillo de excéntrica, 10 mecanismo de avance automático, A conexión para el tubo del inyector.

Leyland



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.3.1. Funcionamiento de la bomba.

En la figura 90 aparece el diagrama de una bomba, cuyo funcionamiento básico es como sigue:

1. el combustible que viene de la bomba elevadora entra en la bomba de inyección por la entrada 1) y llega a la bomba 2) de transferencia tipo aspas; ésta aplica presión al combustible;
2. una válvula 3) reguladora de presión controla la presión del combustible que viene de la bomba de transferencia;
3. el combustible que viene de la bomba de transferencia se distribuye por conductos en la cabeza hidráulica 4) hasta la válvula 5) de dosificación o medición; esta válvula se acciona con la palanca 6) de control para controlar el flujo de combustible por esa válvula hasta el elemento de bombeo. La válvula de dosificación que controla el paso de combustible al elemento de bombeo, controla, también, la cantidad de combustible entregada a los inyectores y, por tanto, la velocidad y la potencia del motor;
4. el combustible que sale de la válvula 5) de dosificación pasa por conducto en la cabeza hidráulica 4) hasta el rotor. La cabeza hidráulica está fija en el cuerpo de la bomba en el cual gira el rotor 8). Los orificios en la cabeza hidráulica se alinean con los del rotor cuando éste gira;

5. el rotor es el componente rotatorio central de la bomba de inyección que impulsa desde el motor mediante un eje estriado 10) El rotor tiene un ajuste muy preciso en la cabeza hidráulica en la cual gira. El combustible de la cabeza hidráulica penetra al rotor durante el tiempo en que los orificios están alineados y después pasa por una perforación central en el rotor hasta el elemento 7) de bombeo que se encuentra en el extremo rotor;
6. el elemento único de bombeo consta de dos émbolos 1) opuestos montados en una cavidad que atraviesa el rotor. Los émbolos giran con el rotor y en la carrera de bombeo se los empuja hacia dentro entre sí para bombear una carga de combustible a alta presión a los inyectores. Un anillo de excéntrica con lóbulos internos acciona los émbolos; el anillo tiene el mismo número de lóbulos que cilindros del motor; por tanto, en un motor de cuatro cilindros ocurrirán cuatro acciones de bombeo por cada revolución de la bomba;
7. el rotor envía la carga de combustible a alta presión, producida por el elemento de bombeo, a un orificio en la cabeza hidráulica, conectado con el exterior de la bomba a través de la cabeza hidráulica. Por tanto, toda carga del rotor puede pasar por el conductor hasta el tubo para el inyector que está conectado con un orificio 9) en el exterior de la bomba, y llegar al inyector;
8. en la cabeza hidráulica hay un orificio para cada cilindro del motor, por lo que, cuando gira el rotor, un orificio en el mismo enviará una carga de

combustible a la cabeza hidráulica que la distribuirá al cilindro correspondiente.

Figura 90. Bomba de inyección tipo distribuidor

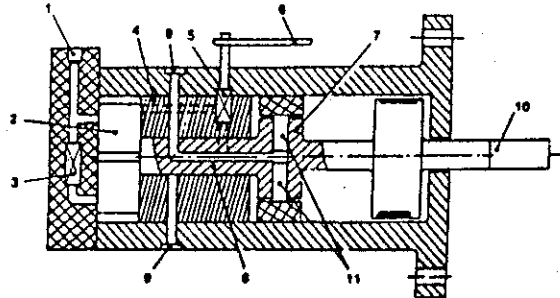


Diagrama de una bomba de inyección tipo distribuidor: 1 entrada de combustible, 2 bomba de transferencia de aspas, 3 válvula reguladora de presión, 4 cabeza hidráulica, 5 válvula dosificadora, 6 palanca de control, 7 elemento de bombeo, 8 rotor, 9 conexiones para tubos de inyectores, 10 eje extriado, 11 émbolos de la bomba

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.3.2. Elemento de bombeo.

En la figura 91 se ilustra el funcionamiento de los émbolos en el elemento de bombeo. Se muestran dos posiciones de los émbolos: a) carga y b) inyección. Los émbolos funcionan dentro de un pequeño cilindro en el rotor y éste gira en la cabeza hidráulica.

En la figura 91 a) se ilustra el espacio entre los émbolos mientras se carga con combustible. El rotor, en este momento, tiene el orificio de entrada

alineado con el orificio de dosificación en la cabeza hidráulica y, una cantidad dosificada de combustible que viene desde esa válvula, obliga a los émbolos a separarse. La distancia que se separan los émbolos se determina en la práctica, por la presión de combustible y por el tiempo en que estén alineados los orificios de entrada y de dosificación.

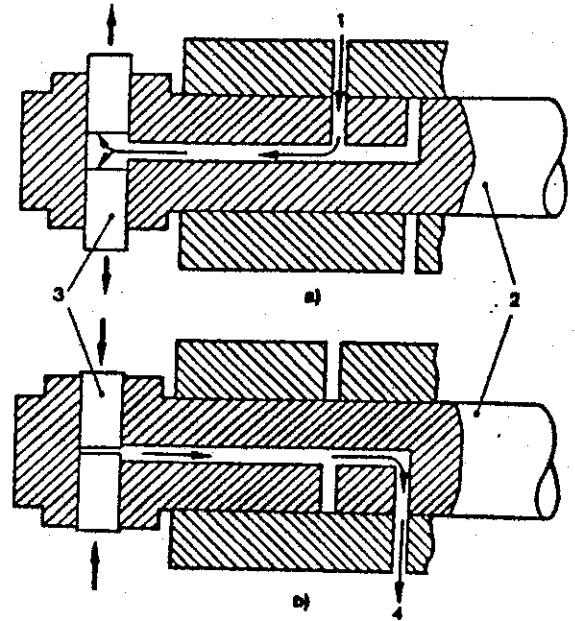
Mientras el rotor continúa girando, el orificio de entrada permanece cerrado, pero, el orificio de salida del rotor alinea con uno de los orificios distribuidores en la cabeza hidráulica, que está conectado con un inyector, como se muestra en la figura 91 b) Los lóbulos del anillo de excéntrica han empujado a los émbolos uno contra el otro para producir una carga de combustible a alta presión.

Con la rotación continua del rotor, otro orificio de entrada en él alinea con el orificio de dosificación en la cabeza hidráulica para que llegue a los émbolos más combustible dosificado. Con más rotación, el orificio de salida del rotor alinea con otro orificio distribuidor para enviar una carga de combustible al siguiente inyector en el orden de encendido del motor y, así, el ciclo de carga y de bombeo.

La exactitud del espaciado entre los lóbulos del anillo de excéntrica y los orificios para combustible en la cabeza hidráulica y en el rotor permite tener el intervalo correcto de sincronización entre las inyecciones; el elemento de bombeo envía exactamente la misma carga dosificada a cada inyector.

Figura 91. Ciclo de bombeo de la bomba de distribuidor

Ciclo de bombeo de la bomba de distribuidor:
1 entrada de combustible, 2 rotor, 3 émbolos de bombeo, 4 combustible al inyector. a) Carga: el combustible separa los émbolos.
b) inyección: los lóbulos de la excéntrica han empujado a los émbolos entre sí para entregar una carga de combustible al inyector
Leyland



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.3.3. Mecanismo de avance o de adelanto de inyección.

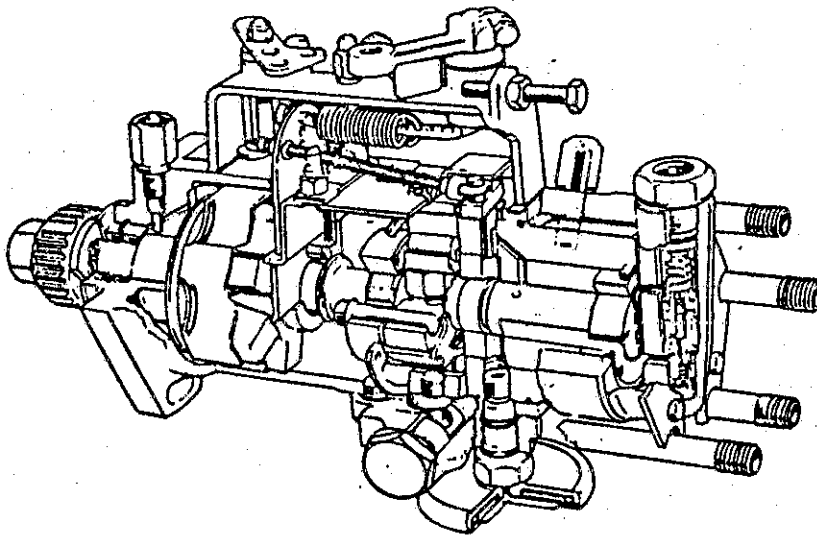
Este mecanismo consta de un pistón que actúa contra un resorte para hacer girar el anillo de excéntrica unos cuantos grados dentro de la cubierta de la bomba. Se hace girar al anillo en sentido opuesto a la rotación del motor para hacer que los lóbulos accionen antes a los émbolos y se avance la sincronización (tiempo) de la inyección.

Se utiliza la presión del combustible desde la bomba de transferencia para accionar el pistón. La presión que aumenta, según la velocidad del motor,

actúa sobre el pistón que se mueve para hacer girar el anillo de excéntrica y avanzar la inyección.

La bomba de inyección ilustrada en la figura 92, tiene un mecanismo de avance automático instalada en su parte inferior.

Figura 92. Bomba tipo distribuidor con gobernador mecánico



Vista seccional de una bomba tipo distribuidor con gobernador mecánico

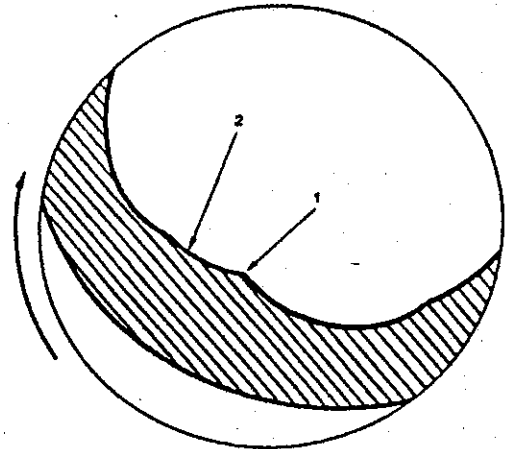
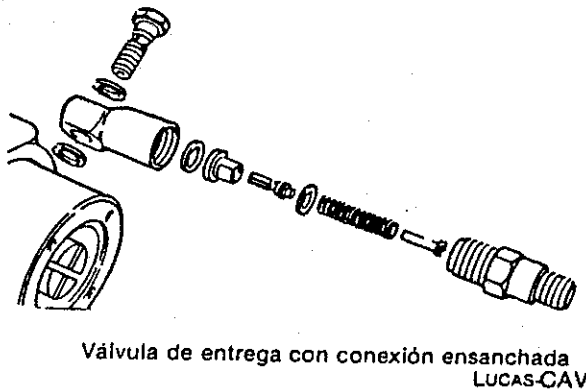
Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Válvulas de entrega

Los lóbulos del anillo de excéntrica están configurados para descargar la presión en el inyector al final de la inyección. Esto produce un corte rápido de la inyección e impide el escurrimiento en la tobera. En la figura 93 se ilustra la forma de un lóbulo de la excéntrica en donde 1) es el pico de la excéntrica y 2)

es la curva para retracción, que hace que el émbolo corte con rapidez la entrega de combustible.

Figura 93. Válvulas de entrega



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

3.4 Sistema de combustible Caterpillar

Los sistemas de combustible utilizados en los motores Caterpillar tienen bombas de inyección en línea, descritas anteriormente. Sin embargo, los sistemas Caterpillar tienen sus propias características para la bomba de inyección, inyectores y gobernador.

Se describirá el sistema de dosificación con manguito. Su nombre proviene del tipo de dosificación en la bomba de inyección. Ambos sistemas son de alta presión, es decir, los inyectores funcionan con el combustible a

presión que viene de la bomba. Se comentarán las diversas partes del sistema.

3.4.1. Sistema de dosificación con manguito

En la figura 94 se muestra un diagrama de dosificación con manguito y los números de referencia señalan las diversas piezas. El flujo de combustible se indica con las flechas. El sistema funciona como sigue:

Figura 94. Sistema de combustible Caterpillar con dosificación por manguito

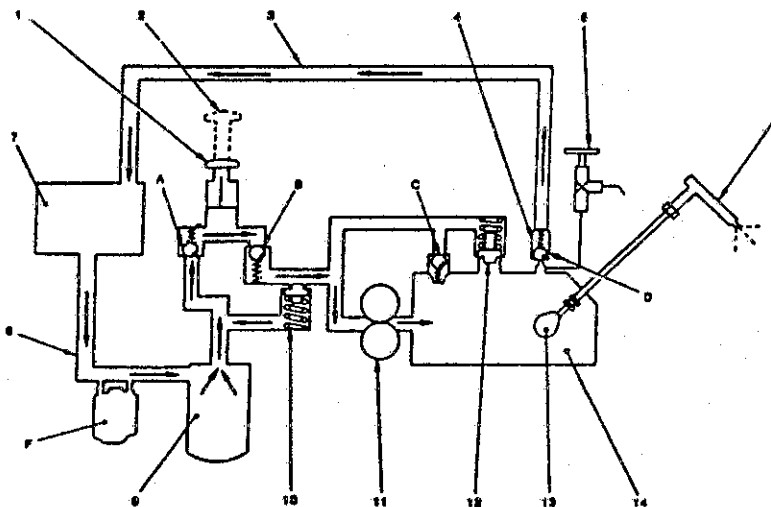


Diagrama del sistema de combustible con dosificación por manguito: 1 bomba de cebado (cerrada), 2 bomba de cebado (abierto), 3 tubo de retorno, 4 válvula de purga constante, 5 purga manual, 6 inyector, 7 tanque de combustible, 8 tubo para combustible, 9 filtro, 10 válvula de derivación, 11 bomba de transferencia de combustible, 12 válvula de derivación, 13 levas, 14 cubierta de bomba de inyección, A, B, C y D válvulas de retención, F separador de agua

CATERPILLAR

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

Con el motor en marcha, la bomba de transferencia 11) que es del tipo de engranes, toma combustible del tanque 7) y lo entrega a la bomba de inyección 14) El combustible que sale del tanque pasa primero por el separador F) de agua y el filtro 9) antes de llegar a la bomba de transferencia

11); desde ésta, el combustible a presión llena la cubierta de la bomba de inyección. La presión del combustible con plena carga es alrededor de 200 kPa. Si la presión del combustible dentro de la cubierta es demasiado alta, se abrirá la válvula de derivación 12) para retornar parte del combustible al lado de entrada de la bomba de transferencia para reducir la presión en la cubierta de la bomba de inyección.

La bomba de inyección que se describirá con mayor detalle más adelante, consta de una cubierta con un elemento de bombeo separado para cada cilindro, accionado por el árbol de levas de la bomba. En el diagrama sólo se ilustra una leva 13) y un elemento de bombeo, que funcionan en la forma usual para entregar una cantidad dosificada (medida) de combustible a alta presión al inyector 6) y éste lo atomiza en la cámara de combustión.

La válvula 4) de retorno constante sirve para expulsar el aire (purgar) del sistema porque deja que el combustible retorne por el tubo 3) de retorno al tanque 7). Este flujo del combustible purga el aire de la bomba de inyección y ayuda a enfriarla. La válvula de retención (avenida) restringe el flujo hasta que la presión dentro de la cubierta es de unos 20 kPa. Algunos sistemas tienen también un tubo de retorno de combustible en la parte superior de los inyectores para llevar la pequeña cantidad de combustible que sale de ellos hasta el tanque.

Cebado manual.

El sistema tiene una bomba de cebado 1) manual para llenarlo con combustible y purgar el aire. Durante el cebado manual, el flujo del combustible es como sigue:

cuando se tira (hala) de la palanca de la bomba de cebado 1), la presión negativa en ella hace que se abra la válvula de retención A) y que la bomba succione el combustible del tanque 7) por el tubo 8) de entrada. Al empujar la palanca de la bomba, se cierra la válvula de retención A) y se abre la válvula de retención B). Si el sistema está seco, entonces primero pasará aire, luego aire y combustible y después solo combustible por la válvula de retención B) a la cubierta 14) de la bomba de inyección. Con esto se pasa de un lado de la bomba de transferencia de combustible 11) al levantarse la válvula de retención C) de modo que pueda entrar a la cubierta de la bomba de inyección.

Cuando se sigue accionando la bomba de cebado, tomará combustible del tanque hasta que los tubos de combustible, el separador F) de agua, el filtro 9) y la cubierta 14) de la bomba de inyección estén llenos. Hay que abrir con la mano la válvula 5) para purgar el sistema. Se acciona la bomba de cebado con esa válvula abierta hasta que el flujo de combustible esté libre de burbujas. Si la presión sube a más de 140 kPa cuando se acciona la bomba de cebado, se abrirá la válvula 10) de derivación para que el combustible retorne a la entrada de la bomba de cebado.

El accionamiento de la bomba de cebado, además de cebar y purgar el sistema para tener combustible para el arranque, todas las piezas móviles del sistema reciben el combustible que las lubrica antes de tratar de poner en marcha el motor.

El fabricante recomienda la siguiente precaución: el combustible Diesel es el único lubricante para las piezas móviles de la bomba de transferencia, en la cubierta de la bomba de inyección y en el gobernador. La cubierta de la bomba de inyección debe estar llena con combustible antes de hacer girar su árbol de levas.

Bomba de inyección con dosificación por manguito.

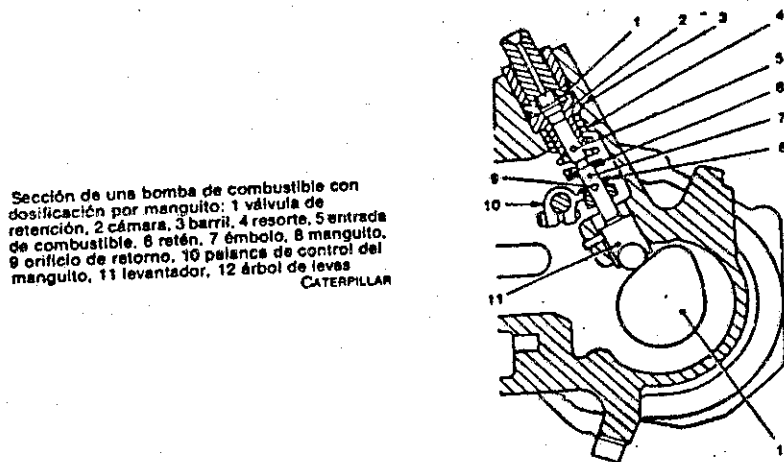
La bomba de inyección se impulsa desde el tren de engranes y debe estar sincronizada con el motor. En la cubierta de la bomba hay cierto número de elementos de bombeo, uno para cada cilindro. Su fabricante sólo les llama bombas. El árbol de levas en la cubierta de la bomba que gira a la mitad de las revoluciones del cigüeñal, acciona los elementos de bombeo. La bomba de Transferencia está en el frente de la cubierta de la bomba de inyección y el gobernador en la parte trasera. La cubierta y el gobernador se llenan con combustible a baja presión.

Elemento de bombeo.

En la figura 95 se ilustra una sección de una bomba. Las partes móviles principales son el árbol de levas (12), el levantador (11), el émbolo (7) y el barril (3). Cuando gira el árbol de levas mueve el émbolo hacia arriba y abajo

en el barril para enviar cantidades dosificadas de combustible por la válvula de retención 1) y la conexión en la parte superior de la bomba hasta los inyectores. El resorte 4) y el retén 6) mantienen al émbolo contra el levantador.

Figura 95. Sección de bomba de combustible con dosificación por manguito



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

El combustible bombeado a los inyectores se dosifica por la posición del manguito dosificador 8) al cual puede mover hacia arriba o abajo la palanca 10) de control del manguito para variar la cantidad de combustible entregada por el émbolo 7).

3.4.2. Funcionamiento de la bomba.

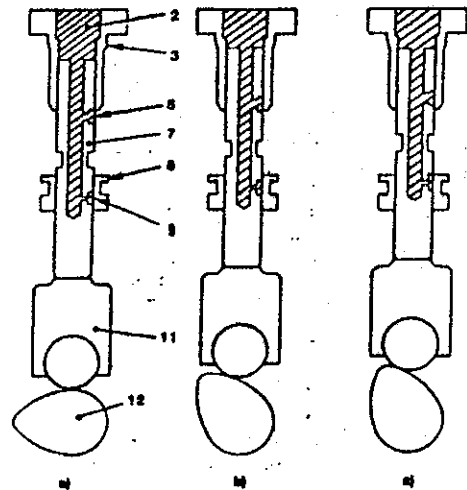
En la figura 96 se ilustra el funcionamiento de la bomba de inyección. Las piezas físicas, que tienen los mismos números de referencia que en la figura 96 son el barril 3), el émbolo 7), el manguito 8), el levantador 11) y la leva 12) Además, se muestran la cámara de bombeo 2) encima del émbolo, el

orificio 5) de entrada o llenado y el orificio 6) de salida o retorno, porque intervienen en el funcionamiento de la bomba. El émbolo es hueco en una parte de su longitud de modo que la cámara 2), el orificio de admisión 5) y el orificio de salida 9) estén conectados entre sí. Se debe tener en cuenta que el barril abre y cierra el orificio de entrada y que el manguito 8) de medición abre y cierra el orificio de salida cuando el émbolo se mueve hacia arriba y abajo.

Figura 96. Funcionamiento de bomba de combustible con dosificación por manguito

Funcionamiento de la bomba de combustible con dosificación por manguito: a) antes de la inyección, b) comienzo de la inyección, c) final de la inyección; 2 cámara, 3 barril, 5 entrada de combustible, 7 émbolo, 8 manguito de dosificación, 9 orificio de retorno, 11 levantador, 12 leva.

Caterpillar



Fuente: Manual de equipo de inyección para motores Diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

El funcionamiento del émbolo en su carrera ascendente o de bombeo es como sigue:

Figura 96 a) El émbolo está en la parte inferior de su carrera y éste, como es hueco y la cámara 2) encima del mismo se llenan con combustible. La cubierta de la bomba está llena con combustible a presión y éste ha llenado el émbolo y la cámara 2) por el orificio 5) de entrada que está debajo del nivel de

combustible en él cubierta. El manguito de dosificación, que se puede mover hacia arriba y abajo por la palanca de control, debe estar a suficiente altura en el émbolo para cerrar el orificio 9) de retorno de combustible antes de que el émbolo pueda entregar combustible al inyector.

Figura 96 b) La inyección comienza cuando la leva ha elevado el émbolo lo suficiente en el barril 3) para cerrar el orificio 5) de entrada; éste y el orificio 9) están cerrados. Cuando gira el árbol de leva hace subir más el émbolo en el barril y se aplica presión al combustible que hay en la cámara. Con esto se abre una válvula de retención (que no se ilustra) en la parte superior de la bomba y se entrega combustible al inyector. La inyección comienza cuando la presión del combustible dentro del inyector es lo bastante alta para abrir su válvula.

Figura 96 c) La inyección cesa cuando el émbolo ha subido lo suficiente para abrir o descubrir el orificio 9) de retorno, en el borde del manguito de dosificación. Con esto se descarga la presión en la cámara y cesa el bombeo. La leva sigue moviendo al émbolo hasta la parte superior de su carrera.

La rotación del árbol de levas permite que el émbolo termine su carrera descendente y, durante ese tiempo, el émbolo y la cámara de bombeo se llenan de [combustible para volver a empezar el ciclo].

Dosificación (medición)

La cantidad de combustible inyectado se controla con la posición de manguito en el émbolo, lo cual determina cuando cesa la inyección y, por ende,

la cantidad inyectada. La inyección siempre empieza en el mismo momento, es decir, cuando está cerrado el orificio de entrada y cesa cuando se abre el orificio de retorno. El operador, por medio de sus controles o el gobernador, pueden variar lo anterior cuando hacen que el manguito de dosificación se mueva hacia arriba o hacia abajo.

Cuando el manguito está tan debajo en el émbolo que el retorno de combustible permanece abierto durante toda la carrera, no se producirá presión y no se inyectará combustible. Esta es la posición de corte de combustible del manguito.

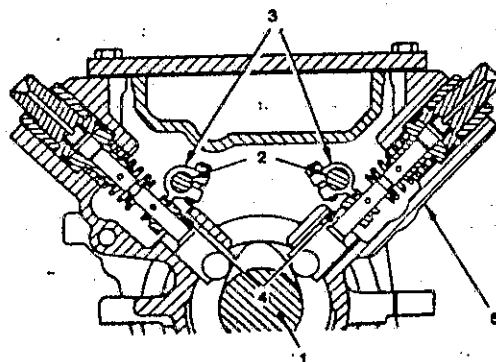
Cuando se mueve el manguito hacia arriba en el émbolo, se cerrará el retorno de combustible durante una parte de la carrera y producirá presión para inyección. Esta es la posición de paso de combustible. Al mover el manguito hacia arriba aumentará la cantidad de combustible inyectado; al moverlo hacia abajo se reducirá. Si se le mueve hacia abajo lo suficiente, no habrá inyección y se parará el motor. Mediante la conexión entre el manguito de dosificación y el gobernador, se controla el motor. El operador, a su vez, puede con sus controles variar la fuerza del resorte gobernador al mover el pedal o palanca del acelerador y con ello controla el funcionamiento del motor.

Construcción de la bomba de inyección.

En la figura 97 se ilustra la instalación de la bomba de inyección en un motor en V. En este caso, la cubierta tiene dos bancos de elementos de bombeo al mismo ángulo que el de los cilindros del motor. La bomba está montada en la parte superior del motor en el valle entre los bancos de cilindros.

Los engranes de sincronización impulsan la bomba. Tiene un sólo árbol de levas 1) para accionar ambos bancos de elementos de bombeo. Hay dos varillas de control 2) una para cada banco, para accionar las palancas 3) de los manguitos que mueven a los manguitos 4) de dosificación hacia arriba y abajo para controlar la cantidad de combustible entregada a los inyectores.

Figura 97. Instalación de una bomba de combustible de dosificación por manguito



Instalación de una bomba de combustible de dosificación por manguito en un motor en V:
1 árbol de levas, 2 varillas de control, 3 palancas de los manguitos, 4 manguitos, 5 cubierta
CATERPILLAR

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

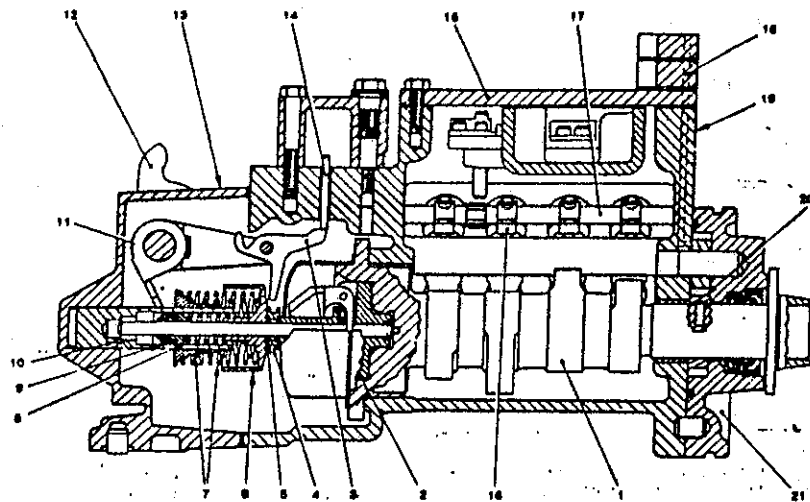
La bomba ilustrada en la figura 95 es para un motor en línea. Tiene una sola hilera de elementos de bombeo, en ángulo con la cubierta. Las bombas con una sola hilera de elementos también se utilizan en algunos motores del tipo en V.

3.4.3. Gobernador.

En la figura 98 aparece un corte de la bomba de inyección completa para un motor en V. El árbol de levas se impulsa desde el extremo delantero

(lado derecho de la ilustración) El gobernador está montado en la parte trasera de la bomba e impulsado por su árbol de levas. El soporte para contrapesos está atornillado en el extremo de árbol de levas y aquéllos giran junto con el árbol.

Figura 98. Gobernador para un motor en V



Corte de una bomba de dosificación por manguito y gobernador para un motor en V: 1 árbol de levas, 2 soporte y contrapesos del gobernador, 3 palanca de tope de carga, 4 collar de empuje, 5 resorte de exceso de combustible, 6 asiento del resorte, 7 resortes del gobernador, 8 resorte del amortiguador de cierre, 9 pistón del amortiguador de cierre, 10 orificio del amortiguador de cierre, 11 palanca en el eje del gobernador, 12 palanca de control, 13 cubierta del gobernador, 14 pasador de tope de carga, 15 tapa de la bomba, 16 palanca de manguito de dosificación, 17 eje de control del manguito, 18 conducto interno de combustible, 19 cubierta de la bomba de inyección, 20 engrane de impulsión de la bomba de transferencia, 21 bomba de transferencia de combustible

CATERPILLAR

Fuente: Manual de equipo de inyección para motores diesel (2). Bosch. Instrucción técnica.

En la ilustración aparecen las piezas principales de la bomba y el gobernador. Se ilustra en la cubierta de la bomba del eje 17) de control del manguito con las palancas 16) para los manguitos conectados al mismo, pero, sólo se puede ver la parte inferior de los elementos de bombeo. Los engranes para la bomba de transferencia se ilustran en sección en el extremo delantero de la bomba.

El gobernador es mecánico y sus piezas funcionales principales son los dos contrapesos 2), el collar o collarín de empuje 4) y los resortes 7) del gobernador; hay dos de éstos. El principio de funcionamiento es similar al de otros gobernadores mecánicos porque los contrapesos en rotación, debido a la fuerza centrífuga, aplican fuerza en un sentido contra el collar de empuje 4) y los resortes del gobernador aplican fuerza en sentido opuesto. Con el balanceo de estas fuerzas se obtiene la acción del gobernador. El varillaje, movido por el gobernador, está conectado entre el collar de empuje y el eje 17) de control del manguito en la cubierta de la bomba. La acción del gobernador puede girar el eje de modo que las palancas 16) de manguito muevan a éstos hacia arriba y abajo en los émbolos de la bomba para controlar la cantidad de combustible que entregan los inyectores, como se describió antes "dosificación".

Acción del gobernador.

En referencia de nuevo a la figura 98, la acción del gobernador es como sigue:

La palanca 12) externa de control está conectada con la palanca interna en el eje 11) del gobernador. El collar de empuje 4) que recibe las fuerzas opuestas de los contrapesos y los resortes, está conectado por medio de varillaje (que no se aprecia en la ilustración) con el eje 17) de control de manguitos. Por tanto, el movimiento de la palanca externa 12) hará que se mueva el eje 17) de control de manguitos, lo cual ocurre por la acción de la palanca interna 11) que apoya contra los resortes 7) del

gobernador. Esto mueve al collar de empuje 4) que, a su vez, mueve su varillaje para hacer girar el eje 17) de control de manguitos.

Si se mueve la palanca externa 12) para aumentar la fuerza de los resortes entonces se hace girar el eje 17) que mueve a los manguitos de dosificación hacia arriba para aumentar la cantidad de combustible entregada a los inyectores.

Si se coloca el control del gobernador en una posición determinada se mantendrá una determinada velocidad del motor. Cualquier aumento o disminución en las r.p.m. del motor influirá en la fuerza centrífuga que actúa en los contrapesos del gobernador, y, éstos cambiarán su posición para mover el varillaje de control y el eje de control de los manguitos para disminuir o aumentar (según el caso) la cantidad de combustible que se inyecta y restaurar la velocidad del motor de acuerdo con la posición del gobernador.

Arranque de motor

Para el arranque del motor se requiere máximo combustible. La fuerza del resorte 5) de exceso de combustible, que está detrás del collar de empuje 4) es suficiente para empujar a éste hacia la derecha. Esto hace girar el eje de control de los manguitos, los cuales se elevan para entregar máximo combustible en los inyectores para el arranque.

Con el motor a unas 400 r.p.m. los contrapesos del gobernador producen suficiente fuerza para comprimir el resorte 5) entre el collar 4) y el asiento 6) del resorte, con lo cual éste ya no actúa una vez que el motor ya está en marcha y funciona con uniformidad. Después, la acción del gobernador controla la velocidad del motor.

Carga máxima.

El movimiento de la palanca de control hacia la posición de alta velocidad comprime los resortes 7) del gobernador con lo cual se empujará el asiento 6) del resorte contra la palanca 3) de tope de carga máxima, luego esta palanca hará contacto con el pasador 14) de tope de carga máxima y lo empujará hacia arriba hasta que llegue a su tornillo de tope. El movimiento de la palanca de control también hace girar el eje 17) de control de los manguitos y aumenta la cantidad de combustible inyectado. Cuando el pasador de tope de carga máxima toca con su tornillo de tope, el eje 17) ya no girará más. En estas condiciones, se entrega la máxima cantidad de combustible a los inyectores.

Paro del motor.

Al mover la palanca de control del gobernador, con el motor en marcha, a la posición de corte de combustible, se eliminará la fuerza del resorte del gobernador, lo cual hace que gire el eje 17) de control de los manguitos y que éstos se muevan hacia abajo de modo que sólo se inyecte una pequeña cantidad de combustible.

Se utiliza un solenoide para el motor que mueve al varillaje una distancia adicional, con lo que los manguitos de dosificación se mueven hacia abajo cierta distancia para que no haya entrega de combustible y se produzca el paro del motor.

3.4.4. Amortiguador de cierre del gobernador.

El gobernador tiene un amortiguador de cierre ("dashpot") que mantiene constante la velocidad del motor. Consta de un pistón 9) pequeño dentro de un cilindro y un resorte que actúa para oponerse al movimiento de los contrapesos del gobernador. El pistón se mueve dentro del cilindro que está lleno con combustible y éste sólo puede entrar o salir por un orificio pequeño 10), con lo cual el combustible amortigua cualquier movimiento del pistón. Esa amortiguación actúa en el gobernador para impedir cambios súbitos en su funcionamiento.

3.5 Sistema de combustible Cummins PT

Los principios de funcionamiento del sistema de combustible PT, utilizado en los motores Cummins se basan en la presión y el tiempo, es decir, en la presión del combustible entregado a los inyectores y el período de tiempo durante el cual el combustible entra a los inyectores. Estos factores influyen en la cantidad de combustible que entra a los inyectores para atomizarlo en la cámara de combustión.

Si tanto la presión en los inyectores como el período durante el cual penetra en ellos el combustible son constantes, se inyectará cierta cantidad fija

de combustible durante cada accionamiento de cada inyector. Sin embargo, si varían la presión o el tiempo, también variará la cantidad de combustible que se inyecta. En el sistema de combustible PT se utilizan las variaciones en la presión y el tiempo para medir la carga de combustible a fin de inyectar la correcta, de acuerdo con las condiciones de funcionamiento del motor.

Requisitos básicos del sistema.

El sistema de combustible PT incluye lo siguiente:

1. una bomba de abastecimiento que absorba el combustible del tanque y lo haga llegar a los inyectores individuales de cada cilindro a baja presión;
2. un tubo y un conducto general común en la culata de cilindros para llevar el combustible a los inyectores;
3. inyectores para recibir el combustible a baja presión enviado por la bomba e inyectarlo a alta presión en la cámara de combustión del cilindro a que pertenece, en el momento adecuado, en cantidad correcta y debidamente atomizado para que se inflame;
4. un medio de controlar la presión del combustible enviado por la bomba a los inyectores, a fin de que cada cilindro reciba la cantidad precisa de combustible para dar la potencia requerida al motor.

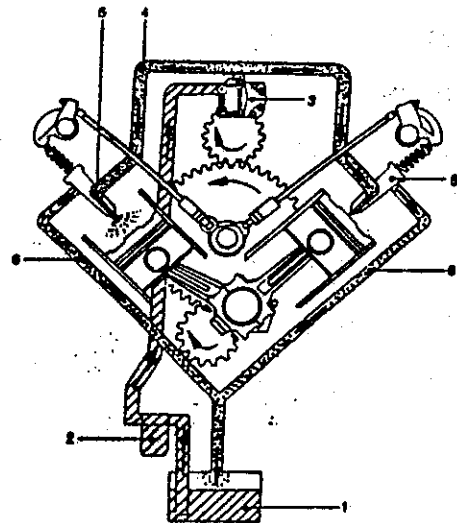
Sistema PT básico.

En la figura 99 se ilustra un diagrama del sistema de combustible para un motor del tipo en V y se señalan las partes básicas, que son: el tanque de combustible 1) el filtro de combustible 2) la bomba de combustible 3) los tubos y conductos 4) los inyectores 5) y los conductos y tubos 6) para retorno de combustible al tanque.

Figura 99. Sistema de combustible PT para un motor tipo en V

Diagrama del sistema de combustible PT para un motor tipo en V: 1 tanque de combustible, 2 filtro, 3 bomba de combustible, 4 suministro a los inyectores, 5 inyector, 6 retorno de combustible de los inyectores.

Cummins



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

Una bomba de engranes que es parte de la bomba de combustible 3), absorbe el combustible del tanque y lo entrega a los inyectores. El combustible de la bomba que está bajo presión, no acciona los inyectores, pues, éstos son de accionamiento mecánico en el momento preciso por medio de las levas del árbol de levas y con los seguidores de levas, varillas o tubos de empuje y balancines. La acción de las levas y los otros componentes hacen que los

émbolos de los inyectores se muevan hacia abajo y produzcan alta presión en el combustible que se atomiza en las cámaras de combustión. En el diagrama se ilustra la forma en que se impulsa la bomba mediante engranes desde el cigüeñal (aunque no están a escala). Por tanto, la velocidad y el volumen de la bomba van en relación con la velocidad del motor.

3.5.1. Componentes del sistema de combustible.

El sistema de combustible PT se muestra en forma esquemática en la figura 100, con ilustraciones simplificadas de los componentes. En el sistema real, algunos componentes son independientes, pero, otros están dentro de la bomba de combustible PT y son parte de ella.

Ahora se describirá por separado la función de cada componente, empezando por el tanque de combustible hasta llegar a los inyectores. En esta forma se puede estudiar el diagrama del sistema completo y establecer la relación entre componentes.

La bomba de combustible e inyectores PT son la parte principal del sistema y se describen con mayor detalle más adelante.

Tanque y filtro de combustible

El combustible que absorbe la bomba de engranes en la parte inferior del tanque pasa por el filtro principal antes de llegar a la bomba de combustible por el tubo A) para combustible, como se indica. La conexión h) en la parte

superior del tanque es el extremo del tubo de retorno del exceso de combustible de los inyectores.

Figura 100. Sistema de combustible completo

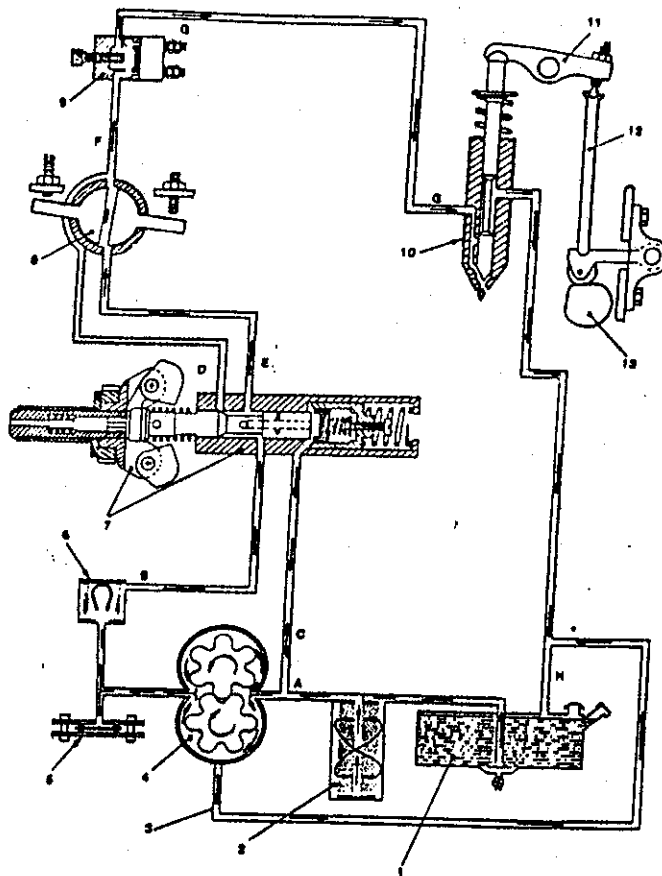


Diagrama del sistema de combustible completo: 1 tanque de combustible, 2 filtro, 3 tubo de retorno, 4 bomba de engranes, 5 amortiguador de pulsaciones, 6 filtro magnético, 7 gobernador, 8 acelerador, 9 válvula de paro, 10 inyector, 11 balancín, 12 vanilla de empuje, 13 leva.

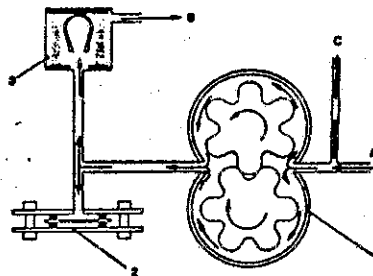
CUMMINS

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

Bomba de engranes.

La bomba de engranes está en la parte trasera de la bomba de combustible y la impulsa el eje de impulsión de ésta. El combustible que viene del filtro entra a la bomba de engranes por el conducto A). El combustible derivado desde el gobernador también entra a la bomba de engranes, por el conducto C).

Figura 101. Bombas de engranes



Bomba de engranes: A combustible del filtro principal, B combustible al gobernador, C derivación del gobernador, 1 bomba de engranes, 2 amortiguador de pulsaciones, 3 filtro magnético
Cummins

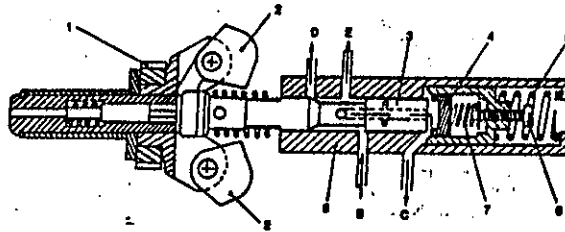
Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

El combustible pasa a lo largo de la bomba y los dientes de los engranes lo mueven en torno a la cubierta. Con esto se envía el combustible a baja presión, al filtro magnético 3) y después, por el conducto b) hasta la sección de gobernador de pulsaciones, montado en la bomba de engranes, tiene un diafragma delgado de acero; el movimiento del mismo absorbe las pulsaciones de los engranes por su movimiento en el espacio de aire que hay detrás del diafragma. Con esto se suaviza el paso del combustible por el sistema.

Gobernador.

Las piezas del gobernador que incluyen dos contrapesos 2) están montados en un eje y se hacen girar mediante engranes dentro de la bomba de combustible. La fuerza centrífuga actúa en los contrapesos y los hace moverse hacia afuera, a la vez que giran en los pasadores que los sujetan en su soporte. Este movimiento hacia afuera de los contrapesos mueve al émbolo 3) hacia la derecha contra la acción de los resortes 5) y 7) del gobernador. El émbolo es una forma de válvula hidráulica que gira con los contrapesos y también se desliza en sentido axial dentro del manguito B) del gobernador. El movimiento del émbolo abre o cierra orificios por el gobernador.

Figura 102. Componentes del gobernador



Componentes del gobernador: B combustible del filtro magnético al émbolo del gobernador, C derivación a la entrada a la bomba, D combustible para marcha mínima al acelerador, E combustible principal al acelerador, 1 engrane de impulsión, 2 contrapesos, 3 émbolo del gobernador, 4 botón, 5 resorte del gobernador, 6 ajuste de marcha mínima, 7 resorte de marcha mínima, 8 manguito del gobernador

CUMMINS

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

El combustible que entra al gobernador en B) puede salir por tres conductos diferentes, según sean las condiciones de funcionamiento del motor. En marcha mínima y a baja velocidad, el combustible pasa desde el émbolo hasta el conducto D). Para funcionamiento normal, se envía el combustible al conducto principal E) del gobernador o, bien, se puede derivar el combustible por el orificio en el émbolo hasta el conducto c) y retornar al lado de entrada

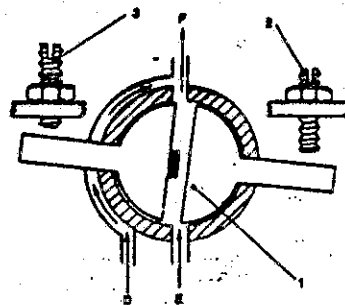
de la bomba de engranes. El funcionamiento del gobernador se describe con mayor detalle más adelante.

Acelerador.

El acelerador permite que el operador controle la velocidad del motor entre la marcha mínima y las r.p.m. gobernadas, de acuerdo con las condiciones variables de velocidad y carga.

En marcha mínima, el acelerador no produce efecto, porque el gobernador es el que la controla. El combustible que viene del orificio en marcha mínima del gobernador llega al acelerador por el conducto D) pero pasa alrededor del eje del acelerador hasta el conducto F) y a los inyectores. A velocidades más altas, el combustible pasa desde el orificio principal del gobernador hasta el acelerador por el conducto E) y, luego, a lo largo del eje del acelerador, hasta el conducto F).

Figura 103. Acelerador



Acelerador: D combustible del orificio de
marcha mínima del gobernador, E combustible
del orificio principal del gobernador, F
combustible a la válvula de pero, I acelerador,
2 y 3 toques del acelerador

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

El eje del acelerador está instalado en una cavidad en el cuerpo de la bomba de combustible y el conductor lo hace girar por medio del varillaje conectado con la palanca o pedal del acelerador. El eje tiene un orificio de acelerador taladrado en el sentido diametral que alinea con dos orificios para combustible en el cuerpo de la bomba. El movimiento de la palanca del acelerador varía la abertura del orificio para aumentar o reducir el paso de combustible y, por tanto, aumentar o reducir la presión en los inyectores. Esto, a su vez, modifica la cantidad de combustible que se inyecta y, así, se controla la velocidad y la potencia del motor.

Cuando se cierra el acelerador, se corta el paso del combustible por el acelerador y por los conductos de marcha mínima. Cuando se abre el acelerador, aumenta el paso de combustible y hay un incremento inmediato en la presión de combustible para los inyectores.

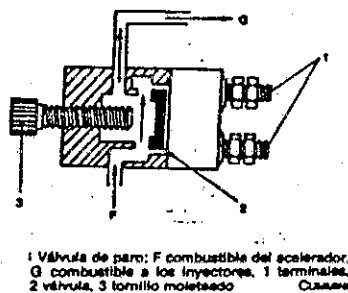
Válvula de paro.

El combustible del acelerador se envía a través de la válvula de paro hasta el múltiple de combustible en la culata de cilindros y a los inyectores. La válvula de paro se emplea para cortar el combustible a los inyectores y hacer que se pare el motor; puede ser manual o eléctrica; se ilustra una válvula eléctrica.

Cuando se gira el interruptor a la posición "ON" (conectado) se energiza el solenoide y levanta a la válvula de su asiento para que el combustible pase desde F) hasta G) Con el interruptor en "OFF" (apagado) se libera el solenoide y la válvula se recarga contra su asiento por medio de un resorte, con lo cual

corta el paso de combustible por ella. En caso de falla del sistema eléctrico, el tornillo moleteado se puede girar con la mano para abrir la válvula y levantarla de su asiento. Cuando el motor está parado, la válvula debe estar siempre en la posición cerrada.

Figura 104. Válvula de paro

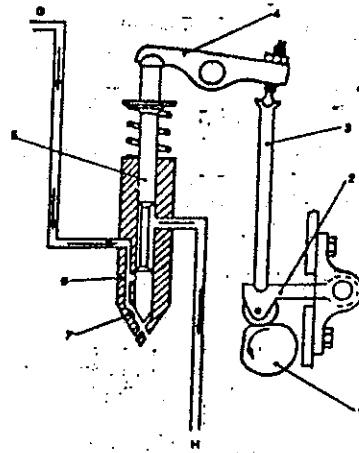


Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

3.5.2. Inyectores.

En la figura 105 aparece un diagrama simplificado de un inyector PT y su mecanismo de accionamiento. El inyector funciona como sigue:

Figura 105. Inyector y mecanismo de accionamiento simplificado



Inyector y mecanismo de accionamiento simplificado: G combustible de la válvula de paro, H retorno de combustible al tanque, 1. leva, 2 seguidor, 3 varilla de empuje, 4 balancín, 5 émbolo, 6 barril, 7 copa del inyector
Cummins

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

El combustible que envía desde la válvula de paro a baja presión al inyector por el conducto G). Cuando el émbolo del inyector se mueve hacia abajo por la rotación del árbol, se inyecta una cantidad medida de combustible a alta presión en la cámara de combustión, pero, el resto circula por el inyector para enfriarlo y lubricarlo, antes de que retorne al tanque de combustible por el conducto H).

Cuando la leva H) gira en el árbol de levas del motor, empuja hacia arriba al seguidor 2) y la varilla de empuje 3); con esto, se acciona el balancín 4) que mueve el émbolo 5) en el barril 6). El combustible que hay en la copa del inyector 7) atrapado debajo del extremo del émbolo se expulsa por los orificios en la parte inferior de la copa y se inyecta en la cámara de combustión.

Después de la inyección, el resorte en la parte superior del inyector hace que suba el émbolo en su barril, el seguidor descansa contra la leva y penetra más combustible en la copa para el siguiente ciclo de inyección.

El combustible que viene de la válvula de paro se lleva a la culata de cilindros por una sola línea de combustible externa para baja presión. Un múltiple de combustible integral en la culata alimenta todos los inyectores. Por ello, la presión del combustible en todos los inyectores es igual y se inyectará de la misma cantidad medida en cada cámara de combustión.

Sistema completo.

En la figura 106 se ilustra en forma esquemática el sistema completo con todos los componentes conectados entre sí. Se puede seguir el paso del combustible desde el tanque y por el sistema hasta el inyector. De acuerdo con la posición ilustrada para el émbolo del gobernador, el motor estaría con aceleración parcial a una velocidad entre marcha mínima y velocidad máxima; la velocidad real dependerá de la carga en el motor.

Figura 106. Diagrama del sistema de combustible completo

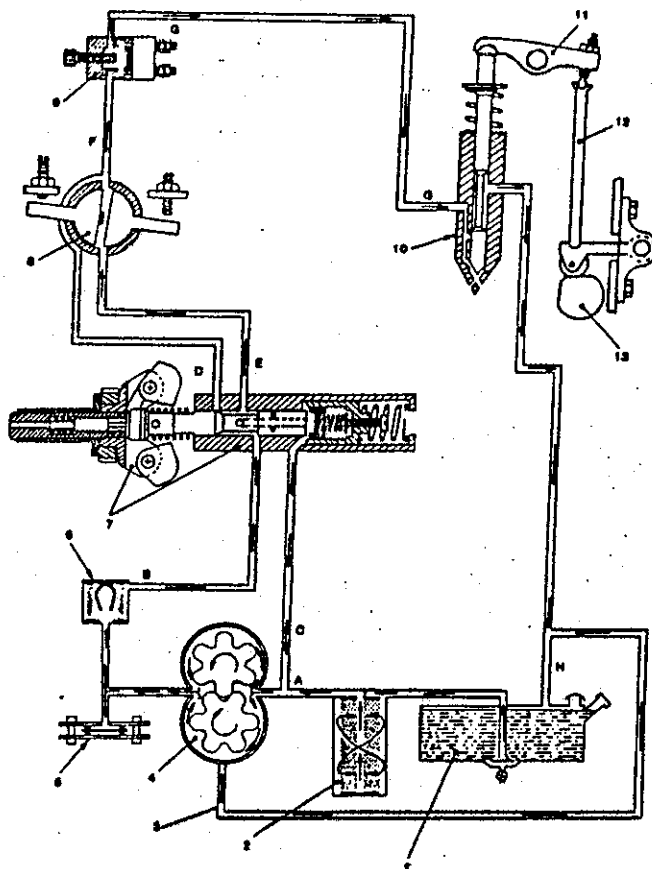


Diagrama del sistema de combustible completo: 1 tanque de combustible, 2 filtro, 3 tubo de retorno, 4 bombe de engranes, 5 amortiguador de pulsaciones, 6 filtro magnético, 7 gobernador, 8 acelerador, 9 válvula de paro, 10 inyector, 11 balancín, 12 varilla de empuje, 13 levas
Cummins

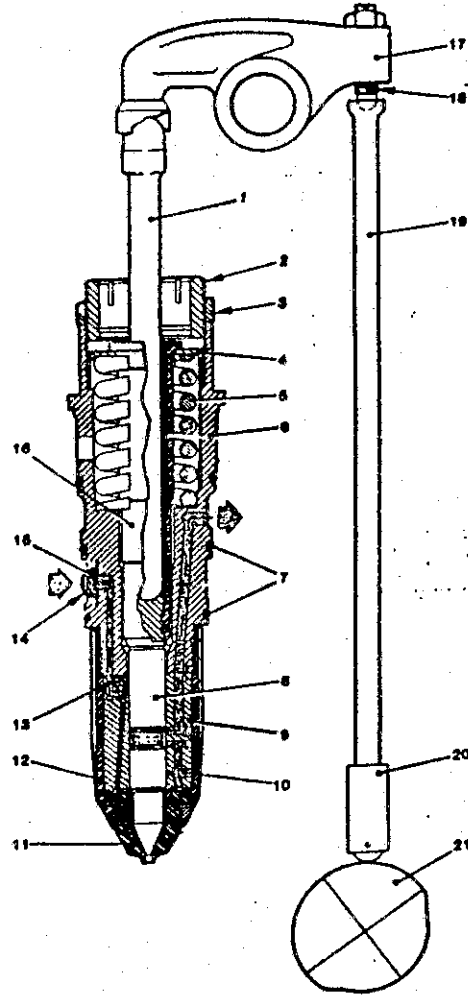
Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

Diseño de los inyectores.

En la figura 107 se ilustra un inyector PT (tipo D) de tope superior en sección y se señalan sus diversas piezas. Es un inyector cilíndrico que se instala en la culata con una grapa o una placa de montaje.

Figura 107. Piezas del inyector PT

Piezas del inyector PT-(tipo D) de tope superior:
 1 articulación, 2 tope superior, 3 contratuerca, 4 arandela, 5 resorte, 6 adaptador, 7 sellos anulares, 8 émbolo, 9 barni, 10 orificio de medición, 11 copa, 12 retén de la copa, 13 baía de retención, 14 malla, 15 orificio de entrada, 16 acoplamiento, 17 balancín, 18 tornillo de ajuste, 19 varilla de empuje, 20 seguidor, 21 leva
 CUMMINS



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

Las piezas más grandes del inyector, el adaptador 6) aloja el resorte 5) de retorno del émbolo en su sección superior y tiene la malla 14) del filtro y el orificio 15) en un lado. El adaptador tiene tres sellos anulares (anillos "O") 7) en el exterior, que sellan contra la culata para formar los conductos de entrada y retorno de combustible hacia y desde el múltiple de combustible. El combustible entra por el orificio 15), pasa por la válvula de retención de bola

13) y llega al barril 9) al conductor anular entre el barril y la copa 11) del inyector y sube hasta el orificio de medición 10) en donde se lo mide y envía a la copa 11) del inyector. El combustible que no se inyecta circula por el orificio de medición, alrededor del émbolo y sale del inyector al tubo de retorno.

La copa, el barril y el adaptador se mantienen unidos con el retén 12) de la copa que se instala a rosca en el extremo del adaptador.

El orificio 10) de medición cerca del extremo del barril en que está la copa es de tamaño fijo.

Los barriles para diferentes modelos de motor tienen orificios de medición de distinto tamaño según las necesidades del motor. Las copas de los inyectores también varían en cuanto al número, tamaño y ángulo de los orificios para atomización.

Inyector de tope superior.

El inyector que se ilustra se llama de tope superior, porque el movimiento ascendente del émbolo está limitado por un tope ajustable en la parte superior del inyector; el tope se ajusta en la fábrica o durante el reacondicionamiento del motor antes de instalar el inyector.

Cuando el inyector está instalado y ajustado en el motor en la forma correcta, el tope superior recibe la carga del resorte del émbolo. Esto elimina la carga en el mecanismo de accionamiento del inyector cada vez que el émbolo, en la parte más alta de su carrera, está contra el tope superior. Al

eliminar la carga del resorte en esa forma, se tiene mejor lubricación para el mecanismo de inyectores porque el aceite puede penetrar entre las piezas movibles con más facilidad que cuando están sometidas a la carga del resorte del inyector.

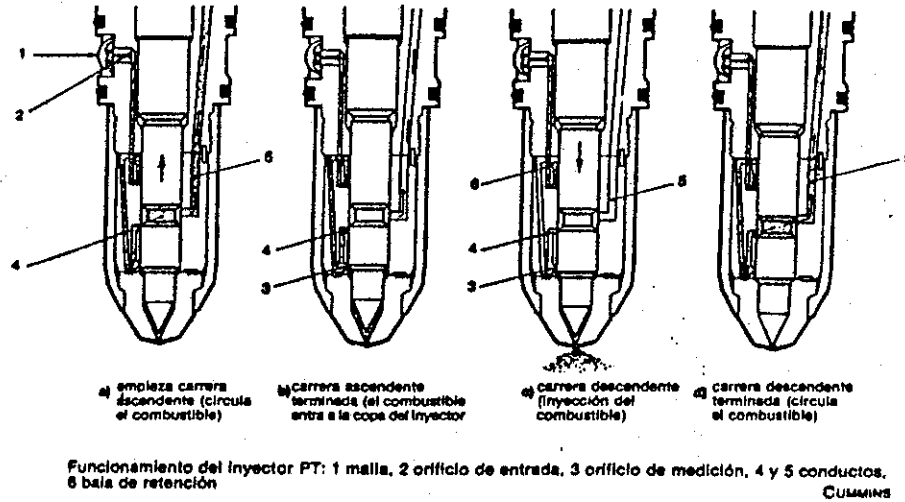
Hay otros inyectores PT que no tienen tope superior y se llaman por ello sin tope superior para distinguirlos. En el inyector de tope superior, el resorte está sujeto en el adaptador o en el cuerpo del inyector por el tope superior. En el tipo sin tope superior el resorte no tiene ningún retén.

Funcionamiento del inyector.

El inyector mide e inyecta el combustible. La medición está basada en la presión y el tiempo, es decir, la presión en el inyector y el tiempo que permanece abierto su orificio de medición, de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del motor; el tiempo lo establece la velocidad de rotación del motor, que, a su vez, determina la rapidez de movimiento del émbolo del inyector.

En la figura 108 se ilustra el funcionamiento del inyector y las acciones de A) hasta D) cuando el émbolo primero se vuelve hacia arriba y luego baja en el barril. La posición de los conductos puede ser diferente a la ilustrada, pero el funcionamiento será el mismo.

Figura 108. Funcionamiento del inyector PT



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

Comienzo de la carrera ascendente.

El combustible figura por el inyector. El combustible enviado a baja presión por la bomba entra al inyector por la malla 1) y baja por el orificio 2) de entrada. Luego, pasa por las perforaciones internas del inyector, alrededor de la ranura anular en la copa, por el conducto 4) y vuelve al conducto 5) para retornar al tanque. En este momento, el émbolo cierra el orificio de medición y no entra combustible a la copa. La cantidad de combustible que circula en el inyector se determina por la presión en el orificio 2) de entrada. La presión, a su vez la determinan la velocidad del motor, en la bomba de combustible, el gobernador y el acelerador.

Carrera ascendente terminada.

El combustible entra a la copa del inyector. Cuando el émbolo se mueve hacia arriba abre el orificio 3) de medición. Esto deja entrar combustible a la copa del inyector y la cantidad se determina por la presión del mismo. El émbolo cierra el conducto 4) y detiene en forma momentánea la circulación del combustible y el orificio de medición queda aislado de las pulsaciones de presión.

Carrera descendente.

Inyección del combustible. El émbolo baja en el barril para cerrar el orificio de medición e impedir el paso de combustible a la copa. El movimiento adicional del émbolo expulsa el combustible a alta presión por los orificios pequeños en la parte inferior de la copa, para atomizar en la cámara de combustión.

Cuando el rebajo en el émbolo descubre el conducto 4) para combustible, éste sale por el conducto 5) de retorno hasta el tanque. Se utiliza la bala de retención 6) para evitar las pulsaciones hidráulicas entre el inyector y el múltiple de combustible en la culata.

Carrera ascendente terminada.

Vuelve a circular combustible en el inyector. Después de la inyección, el émbolo permanece sentado en la copa hasta que vuelve a empezar la carrera

ascendente en el siguiente ciclo. El combustible circula por el inyector y sale por el conducto 5) de retorno al tanque; la circulación enfría al inyector.

3.5.3. Ciclo de inyección del combustible.

En la figura 109 se ilustra el perfil de la leva que acciona el inyector y se muestran las acciones del émbolo del inyector que ocurren durante el ciclo de inyección como consecuencia de la rotación de la leva.

Se verá que la leva tiene la parte alta de su perfil (parte superior de la ilustración) unida con la parte inferior de su perfil con una rampa en cada lado. Cuando la leva gira para mover el seguidor de leva hacia arriba, en la rampa el émbolo del inyector se moverá hacia abajo para asentarse con la copa e inyectar el combustible en la cámara de combustión. Cuando el seguidor baja por la rampa a la parte inferior del perfil de la leva, el émbolo se moverá hacia arriba y se enviará una cantidad medida de combustible hacia la copa.

La leva gira hacia la derecha, vista desde la parte posterior del motor; en el diagrama hay que seguir su movimiento en dirección a la izquierda. La leva es parte del árbol de levas y gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal. La leva del diagrama se ha dividido en cuatro cuadrantes para señalar los cuatro tiempos del motor (potencia, escape, admisión y compresión) y el ciclo de inyección se puede ver en relación con el funcionamiento del motor.

Empezando en el punto A) del diagrama, la inyección comienza antes del PMS en la carrera de compresión y sigue hasta B) en donde concluye. En este momento, el émbolo del inyector ha asentado en la copa del inyector y el

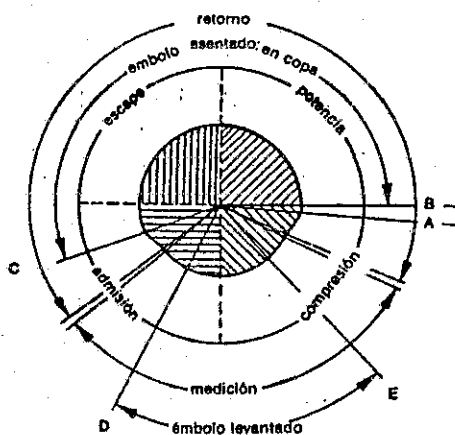
pistón está en su carrera de potencia. Desde B) hasta C) es la parte alta de la leva, con lo que el émbolo permanece asentado en la copa durante las carreras de potencia y escape. El combustible circula por el inyector, pero se desvía de la copa, lo cual se indica como "retorno en el diagrama".

Entre C) y D) el seguidor baja por la rampa hasta la parte inferior de la leva. Con ello, el émbolo sube en el inyector, se abre el orificio de medición y habrá una entrada medida del combustible hacia la copa.

Entre D) y E) el émbolo permanecerá en su posición superior con el orificio de medición abierto hasta que en E) el impulsor empieza a subir por la rampa hasta la parte alta de la leva; con ello, el émbolo se moverá hacia abajo.

Después del punto E) el émbolo cerrará el orificio de medición; se aplicará presión al combustible en la copa y la inyección empezará en A) con lo cual concluye el ciclo de inyección.

Figura 109. Ciclo de inyección de combustible del inyector PT



Ciclo de inyección de combustible del inyector PT CUMMINS

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

3.5.4. Componentes de la bomba de combustible PT.

Se monta con una brida y la impulsa el tren de engranes para auxiliares. Los tres componentes internos principales de la bomba son: la bomba de engranes, el gobernador y el acelerador.

La bomba de engranes.

Es impulsada por el eje principal del gobernador. Absorbe el combustible del tanque y lo envía a baja presión al gobernador.

El gobernador mecánico.

Tiene contrapesos para accionar un émbolo y controlar la velocidad y la torsión (par del motor) También controla la marcha mínima e impide la sobrevelocidad. El combustible se envía desde el gobernador hasta el acelerador.

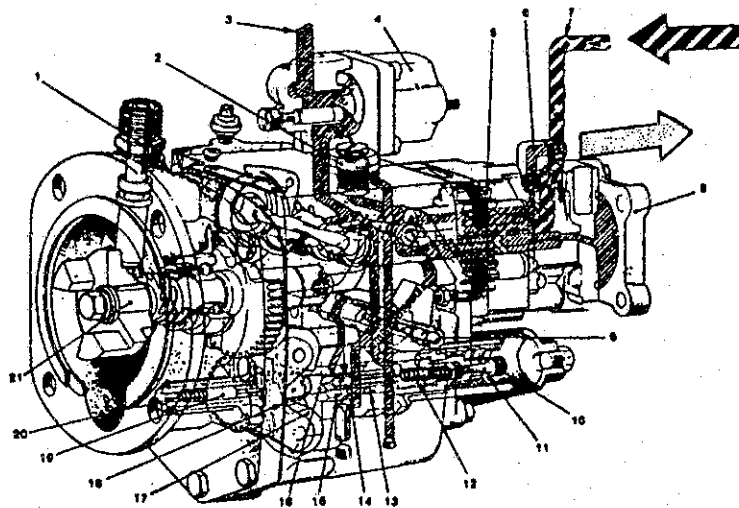
El acelerador.

Básicamente, es un eje con un orificio que alinea con los conductos para combustible para controlar la cantidad y la presión de combustible para controlar la cantidad y la presión del combustible para los inyectores. La palanca del acelerador, conectada con el eje está, a su vez, conectada con el pedal del acelerador u otro control del operador y éste puede variar la velocidad y la potencia del motor entre marcha mínima y velocidad gobernada; esta palanca se puede ver en el exterior de la bomba en la ilustración.

Piezas internas de la bomba PT.

Las piezas de una bomba de combustible PT (tipo G) se ilustran en vista fantasma en la figura 110. Estos permiten ver la forma física de las piezas que se han ilustrado en forma esquemática.

Figura 110. Componentes de la bomba de combustible PT



Componentes de la bomba de combustible PT-tipo G: 1 eje para tacómetro, 2 malla de filtro, 3 combustible a los inyectores, 4 válvula de paro, 5 bomba de engranes, 6 codo para válvula de retención, 7 combustible del tanque, 8 amortiguador de pulsaciones, 9 eje del acelerador, 10 tornillo de ajuste de marcha mínima, 11 resorte para alta velocidad, 12 resorte de marcha mínima, 13 presión de la bomba de engranes, 14 presión en el múltiple de combustible, 15 presión para marcha mínima, 16 ámbolo del gobernador, 17 contrapesos del gobernador, 18 resorte de torsión, 19 ámbolo auxiliar del gobernador, 20 resorte auxiliar del gobernador, 21 eje principal

Cummins

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. Motores Cummins Diesel Automotrices.

Se puede ver que el eje principal 21) que se impulsa desde el motor, acciona la bomba 5) de engranes que está en la parte inferior de la bomba, se impulsa con un grupo de engranes desde el eje principal. El eje 9) del acelerador está montado transversalmente en el cuerpo y sobresale de la cubierta de la bomba para instalar la palanca del acelerador. El filtro

magnético 2) está contiguo a la bomba de engranes y el amortiguador 8) de pulsaciones está detrás de aquélla. La válvula 4) de paro está en la parte superior de la bomba. Un eje 1) de impulsión de tacómetro se conecta con este en el tablero de instrumentos.

Para seguir el paso del combustible por la bomba se empieza en el tubo 7) de entrada de combustible y los conductores que van a la bomba de engranes, acelerador y válvula de paro hasta el tubo 3) para combustible que está conectado en la culata de cilindros.

3.5.5. Funcionamiento del gobernador.

El gobernador mecánico estándar efectúa dos funciones de regulación:

1. mantiene suficiente combustible para marcha mínima cuando la palanca del acelerador está en esa posición;
2. corta el combustible cuando se exceden las r.p.m. gobernadas y así limita la velocidad máxima del motor.

El gobernador también permite una presión sin restricciones a fin de tener el máximo combustible en los inyectores para el arranque. Además, una parte del gobernador funciona como válvula reguladora de presión de la bomba en relación con la velocidad y la carga del motor.

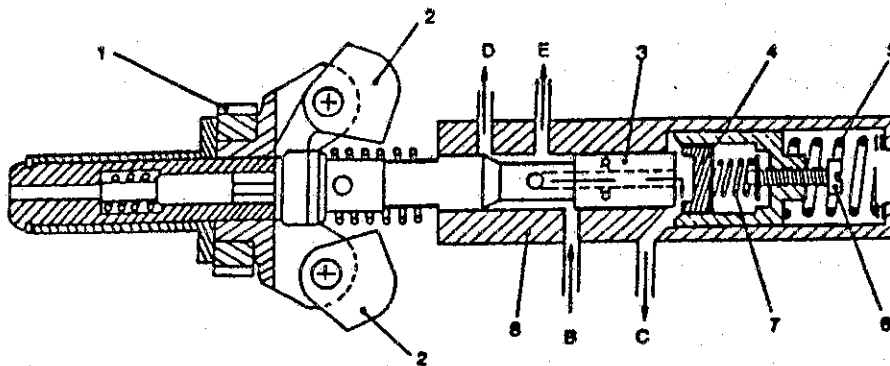
Consúltese la figura 111 en que se ilustra el gobernador básico, como referencia para la siguiente descripción.

Regulación en marcha mínima.

Con el motor en marcha mínima, los contrapesos del gobernador se moverán hacia afuera para colocar el émbolo en el sitio en que envíe la cantidad correcta de combustible al orificio D) de marcha mínima correcta.

Esta es la posición del gobernador ilustrado en la figura 118. El rebajo del émbolo 3) abre en forma parcial el orificio D) de marcha mínima con lo cual pasa una cantidad restringida del combustible al acelerador y a los inyectores.

Figura 111. Componentes del gobernador



Componentes del gobernador: B combustible del filtro magnético al émbolo del gobernador, C derivación a la entrada a la bomba, D combustible para marcha mínima al acelerador, E combustible principal al acelerador, 1 engrane de impulsión, 2 contrapesos, 3 émbolo del gobernador, 4 botón, 5 resorte del gobernador, 8 ajuste de marcha mínima, 7 resorte de marcha mínima, 8 manguito del gobernador

CUMMINS

Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

Si aumenta la carga del motor, éste perderá velocidad y el gobernador responderá a ese cambio para mantener la marcha mínima determinada. Cuando se reduce la velocidad del motor, disminuye la fuerza centrífuga que actúa en los contrapesos y éstos se moverán hacia adentro para mover el

émbolo hacia la izquierda y dejar pasar más combustible por el orificio de marcha mínima determinada. Cuando se reduce la velocidad del motor, disminuye la fuerza centrífuga que actúa con los contrapesos y éstos se mueven hacia adentro para mover el émbolo hacia la izquierda y dejar pasar más combustible por el orificio de marcha mínima, a los inyectores con esto se restaura la marcha mínima.

Cualquier reacción en la carga permitirá que aumente la velocidad del motor y que se muevan otra vez los contrapesos, para mover el émbolo a la posición que restrinja el orificio de marcha mínima. Esto reducirá la marcha mínima.

Un resorte pequeño para marcha mínima se opone al movimiento hacia afuera de los contrapesos. Estos en marcha mínima, siempre estarán en una posición en la cual están balanceados entre la fuerza centrífuga y la fuerza del resorte para mantener la marcha mínima graduada.

Regulación a velocidad máxima.

Cuando el motor llega a su velocidad máxima gobernada, los contrapesos se habrán movido hacia afuera lo insuficiente para colocar el émbolo del gobernador en el lugar en que está a punto de cerrar el conducto E) principal del combustible, cualquier aumento adicional de velocidad del motor produciría más movimiento del émbolo, el cual cerrará en forma parcial el conducto para reducir el suministro y disminuir la velocidad del motor. En esta forma el gobernador actúa para limitar la velocidad máxima de motor a la especificada por el fabricante.

Regulación de la presión.

La presión que produce una bomba sin regulación y el volumen de combustible que bombea están en relación con su velocidad. A alta velocidad la bomba de engranajes puede producir dos o tres veces la presión requerida, por tanto se debe regular de acuerdo con las necesidades del sistema.

La bomba de engranajes entrega mucho más combustible del requerido al émbolo del gobernador. A fin de evitar una presión excesiva, el excedente de combustible pasa por una perforación en el émbolo del gobernador que es hueco, para llegar al botón del resorte de marcha mínima. La presión de combustible contra el émbolo lo separa del extremo del émbolo. Con esto se produce un espacio entre el extremo del émbolo y el botón por el cual el exceso de combustible llega al conducto C de derivación y retorna a la entrada de la bomba de engranajes. La regulación de la presión en el sistema se logra al derivar el exceso de combustible en esa forma.

Los diferentes modelos de motor tienen distintos requisitos de presión y volumen de combustible, que se pueden satisfacer al variar la cantidad de combustible que se deriva en determinado motor. La cantidad derivada dependerá del tamaño del espacio o abertura entre el extremo del émbolo del gobernador y el botón.

La posición del botón y, en consecuencia, el tamaño de la abertura se determinan por la fuerza de los resortes que tratan de cerrar la abertura, a la que se opone la fuerza del combustible a presión que trata de abrirla. El balanceo entre estas fuerzas produce la presión regulada.

La presión requerida en los inyectores en determinado modelo de motor se obtiene con el empleo de botones con rebajo de mayor o menor tamaño. La presión del combustible en el rebajo del botón determina la fuerza contra el mismo y también el tamaño de la abertura para derivar el combustible.

Se debe tener en cuenta que la cantidad de combustible derivado no será constante, sino que dependerá de la velocidad de la bomba y la resistencia al flujo por el émbolo del gobernador y por el conducto de marcha mínima o el conducto principal de combustible hasta el acelerador.

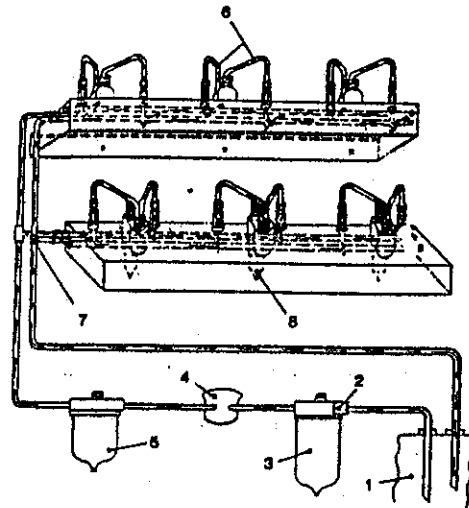
3.6 Sistema de combustible Detroit Diesel

En la figura 112 aparece un diagrama del sistema de combustible de los motores Detroit Diesel para un motor V-6. El sistema de combustible consta del tanque de combustible, el filtro primario, la bomba de transferencia, el filtro secundario o principal y los inyectores, además de los tubos y conductos necesarios para la conexión.

Figura 112. Sistema de inyector unitario

Diagrama del sistema de inyector unitario para un motor V-6: 1 tanque de combustible, 2 válvula de retención, 3 filtro primario, 4 bomba de transferencia, 5 filtro secundario, 6 tubos de entrada y retorno, 7 Te de restricción, 8 inyector

DETROIT DIESEL



Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

Como se ilustra, tres inyectores en cada culata (cabeza) de cilindros se alimentan desde un conducto que se extiende a toda la longitud de la culata, llamado múltiple de entrada de combustible. Un conducto paralelo o, sea, el múltiple de retorno de combustible, se usa para el retorno del sobrante de combustible de los inyectores al tanque. Con este sistema no se utilizan tubos externos largos para los inyectores. Cada inyector tiene dos tubos cortos para conectarlo con los múltiples.

Este tipo de sistema de combustible en el cual se alimentan los inyectores desde un conducto o múltiple común se llama, a veces, sistema con conductos comunes. El flujo del combustible en el sistema es como sigue: el combustible del tanque 1) que toma la bomba de transferencia 4) pasa por el filtro primario 3) antes de entrar a la bomba. Cuando el combustible sale de la bomba a presión se lo envía a través del filtro secundario 5) y por un tubo extremo hasta el múltiple, pasa por los tubos hacia el lado de entrada de cada inyector B) En cada inyector hay un elemento de filtro de combustible antes de medirlo y atomizarlo en la cámara de combustión por los orificios en la tobera del inyector.

El combustible sobrante de los inyectores pasa al múltiple de retorno y, por medio de tubos externos, vuelve al tanque. Esta circulación continua de combustible en los inyectores elimina el aire del sistema y sirve para enfriarlos.

Para mantener la presión en el sistema se emplea una Te 7) de restricción en la salida del múltiple de retorno en la culata de cilindros. Con esto se restringe el paso del combustible de retorno y se mantiene la presión en el sistema. Una válvula de retención 2) en el lado de entrada al filtro

primario, impide el retorno de combustible al tanque cuando el motor está parado.

Filtros con elementos reemplazables.

Los filtros primario y secundario tienen elementos reemplazables, pero no son intercambiables. El filtro primario retiene los cuerpos extraños grandes y el filtro secundario retiene las partículas. Los dos filtros, excepto sus elementos son de construcción idéntica. La tapa del filtro está montada en el motor y el tanque o concha del filtro en donde se coloca el elemento se sujeta en la forma usual con un tornillo central. A fin de reemplazar el elemento se abre un grifo de drenaje en la parte inferior del tanque para vaciarlo. Se saca el tornillo central para liberar el tanque de la tapa. Se saca y desecha el elemento viejo.

Antes de instalar el elemento nuevo, hay que empaparlo con combustible, colocarlo en el tanque del filtro, el cual se llena hasta las dos terceras partes con combustible y se instala en la tapa. Después se termina de llenar el tanque con combustible por el tapón en la tapa. Al llenar los filtros primario y secundario con combustible, se ceba el sistema y el motor arranca hasta que ambos filtros estén llenos para producir presión en el sistema.

Filtros tipo rosca.

En algunos motores se utilizan filtros de combustible tipo rosca, los cuales se desechan completos. Una tuerca de doce puntos en la parte inferior del filtro facilita su reemplazo; no tienen grifo para drenaje.

Para facilitar la identificación, en la tapa del filtro primario figuran las letras "primary" fundidas y en la del filtro secundario aparecen las letras "secondary".

Bomba de transferencia de combustible.

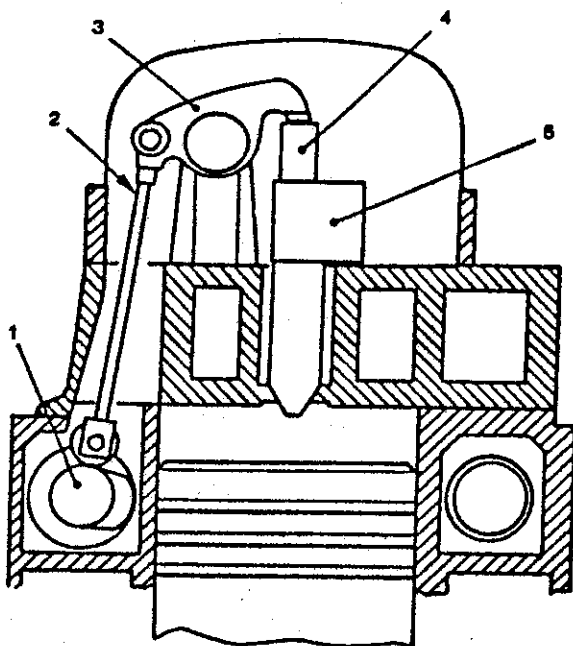
Es una bomba de engranes de desplazamiento positivo que consta de un cuerpo y dos engranes, la cual se impulsa desde el extremo delantero del soplador. Una válvula de desahogo (alivio) en el cuerpo de la bomba se mantiene normalmente cerrada con un resorte y sólo funciona cuando la presión en el lado de salida es mayor de 500 kPa. La presión normal es entre 250 kPa y 450 kPa, pero, podría aumentar y hacer que funcione la válvula de desahogo si se obstruye el filtro secundario o un tubo para combustible.

3.6.1 Inyectores unitarios.

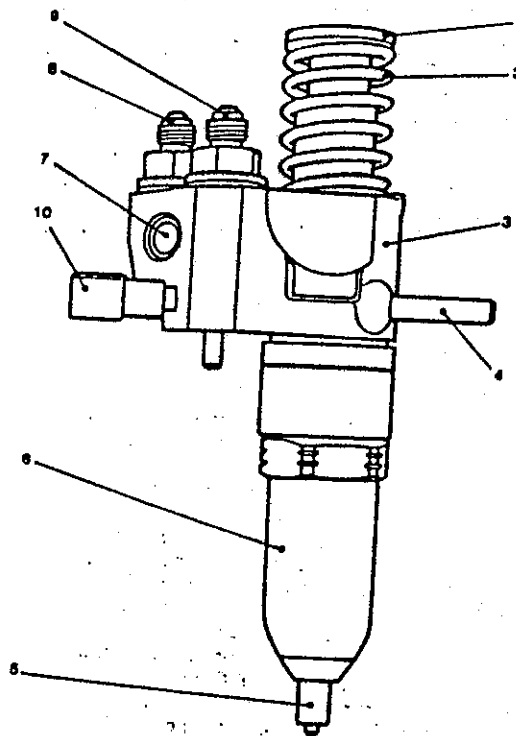
En este sistema se utilizan inyectores unitarios, en los cuales se combinan: una bomba y una tobera de inyección en una sola unidad. Esto permite que el inyector suministre una carga de combustible a alta presión y los inyecte atomizado en la cámara de combustión. En la figura 113 se ilustra un inyector unitario y sus piezas externas; en la figura 114 se ilustra la instalación del inyector en el motor.

Figura 113. Instalación del inyector unitario

Figura 114. Piezas externas del inyector unitario



Instalación del inyector unitario en el motor:
1 árbol de levas, 2 varilla de empuje, 3 balancín,
4 impulsor del inyector, 5 inyector



Piezas externas de un inyector unitario:
1 impulsor, 2 resorte del impulsor, 3 cuerpo,
4 cremallera, 5 tobera, 6 tuerca, 7 placa de
identificación, 8 salida de combustible, 9 entrada
de combustible, 10 horquilla en el extremo de la
cremallera

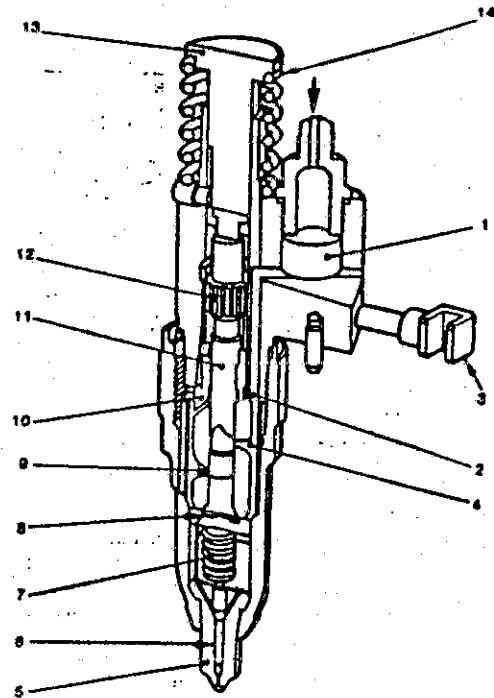
Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

Una leva 1) del árbol de levas del motor, acciona en forma mecánica al inyector 5) La leva hace que la varilla de empuje 2) mueva el balancín 3) en la parte superior de la culata, el cual oprime el impulsor 4) en la parte superior del inyector y mueve el émbolo hacia abajo para efectuar las funciones de bombeo e inyección. En la figura 115 se ilustra un inyector unitario en sección. El inyector consta de un émbolo central 11) que se mueve hacia arriba y hacia

abajo dentro de un buje 10) con el cual tiene un ajuste muy preciso, que actúa como bomba para producir la alta presión necesaria para la inyección. La tobera 5) en el extremo del inyector, inyecta combustible atomizado en la cámara de combustión. Además, el inyector tiene un control de la cantidad de combustible que se inyecta.

Figura 115. Corte seccional de un inyector unitario

Corte seccional de un inyector unitario: 1 filtro, 2 cámara anular, 3 cremallera, 4 orificio superior, 5 tobera, 6 válvula de aguja, 7 resorte de válvula de aguja, 8 válvula de retención, 9 orificio inferior, 10 buje, 11 émbolo, 12 engrane, 13 impulsor, 14 resorte del impulsor
DETROIT DIESEL



Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

Funcionamiento.

El inyector funciona como sigue:

1. el combustible que llega al inyector pasa por el filtro 1) para llenar la cámara anular 2) que está formada entre el buje y el cuerpo del inyector;
2. el émbolo 11) se mueve hacia arriba y hacia abajo en el buje por la acción el balancín contra el impulsor y del resorte en la parte superior del inyector. Una leva del árbol de levas y la varilla de empuje accionan el balancín;
3. la cavidad del buje está conectada con el suministro de combustible en la cámara anular por dos orificios 4) y 9) con lo cual la cavidad debajo del émbolo se llena con combustible mediante el orificio inferior 9)
4. cuando el émbolo se mueve hacia abajo, desplaza el combustible que está en la cavidad, a través del orificio inferior 9) regresándolo sólo a la cámara anular, hasta que el émbolo cubra el orificio;
5. en este momento, la presión no aumenta debajo del émbolo porque el combustible puede escapar hacia arriba, por un conducto en el centro del émbolo, hasta una hélice maquinada en el émbolo, la cual, en este momento, está alineada con el orificio superior 4) y el combustible desplazado retorna a la cámara anular;

6. cuando se mueve más el émbolo, el borde de la hélice pasa más allá del orificio 4) y el émbolo lo cierra, con lo cual se atrapa combustible debajo del émbolo y puede empezar el bombeo;
7. el movimiento adicional del émbolo hace que aumente la presión del combustible que está debajo del mismo y que se abra la válvula 8) de retención, que es plana;
8. cuando la presión es lo bastante elevada, levanta la válvula de aguja 6) de su asiento con lo cual se descarga el combustible a presión por los orificios en la punta 5) de la tobera;
9. el bombeo y la inyección continúan hasta que el borde inferior de la hélice descubre el orificio inferior 9) El combustible que hay debajo del émbolo escapa hacia arriba por el centro del mismo y retorna por el orificio inferior 9) a la cámara anular;
10. cuando termina la carrera descendente del émbolo, la acción de su resorte lo hace volver a la parte superior del inyector. Los orificios vuelven a quedar descubiertos y la cavidad del buje se llena con combustible para la siguiente carrera de bombeo.

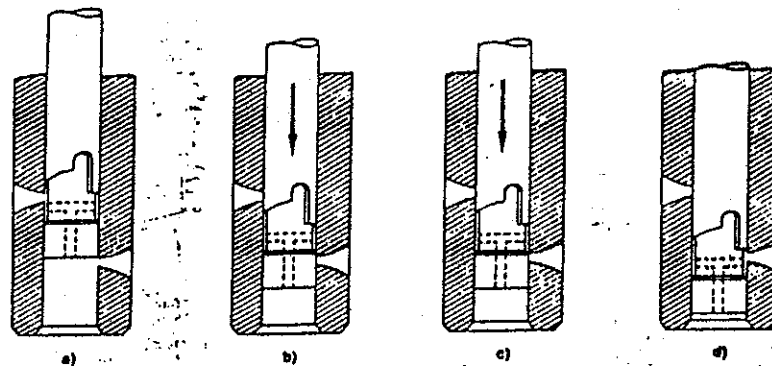
3.6.2. Control de combustible.

La cantidad de combustible que entrega el inyector se controla con la rotación del émbolo, mediante el engrane 12) que está acoplado con la cremallera 3) de control. Esto cambia la posición de la hélice o parte helicoidal

en relación con el orificio superior 4) y varía la carrera efectiva del émbolo para controlar la cantidad de combustible inyectado.

La carrera de bombeo del émbolo se ilustra en la figura 3.68 y se muestra una carrera descendente. La carrera tiene comienzo variable y terminación constante. Para variar el momento del comienzo del bombeo, se gira el émbolo para cambiar la posición de la hélice en relación con el orificio superior, pero, el final del bombeo siempre ocurre al mismo tiempo.

Figura 116. Funcionamiento del émbolo del inyector



Funcionamiento del émbolo del inyector: a) émbolo en la parte superior de su carrera con ambos orificios abiertos, b) carrera de inyección con ambos orificios cerrados: c) fin de la inyección y el orificio inferior empieza a abrir, d) parte más baja de la carrera

Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

La rotación del émbolo, además de variar la cantidad de combustible, también modifica la sincronización de la inyección. Debido a que la hélice cubre el orificio superior más pronto cuando se gira el émbolo para proveer más combustible, se avanzará la inyección cuando aumente la velocidad del motor.

Las acciones del émbolo son:

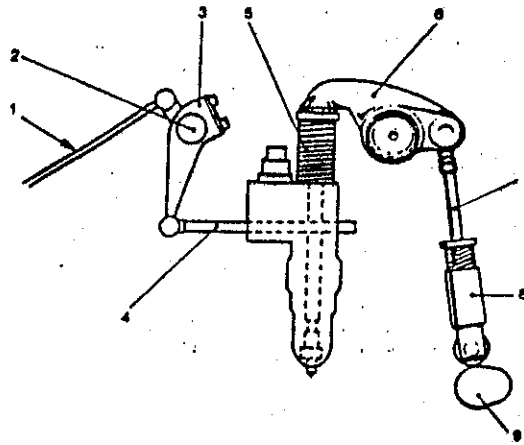
1. el émbolo está en la parte superior de su carrera. Los orificios superior e inferior están abiertos y el combustible llena la cámara descendente. El borde de la hélice ha cubierto el orificio superior y el borde del émbolo ha cubierto el orificio inferior y se producen el bombeo y la inyección;
2. el émbolo está en su carrera descendente. El borde de la hélice ha cubierto el orificio inferior y se producen el bombeo y la inyección;
3. la ranura anular del émbolo descubre el orificio inferior. Se descarga la presión debajo del émbolo y cesan el bombeo y la inyección;
4. el émbolo continúa hasta la parte más baja de su carrera, antes de iniciar la carrera ascendente. Se ilustra el émbolo más o menos en su posición intermedia. Si se lo hace girar en un sentido, la hélice cubrirá más pronto el orificio superior y se inyectará más combustible; si se lo gira en el sentido opuesto, se inyecta menos combustible. La rotación adicional en este sentido hará que la ranura vertical, maquinada en el émbolo al final de la hélice, quede alineada con el orificio superior, que es la posición de corte de combustible. No ocurrirá el bombeo porque el orificio superior no estará cubierto por el borde de la hélice. Para efectuar el paro del motor se hace girar el émbolo a esta posición.

Varillaje de control.

El pedal o palanca del acelerador, accionados por el operador, están concentrados por medio del varillaje con el gobernador que, a su vez, está conectado con la cremallera de control; en la figura 117 se ilustra el mecanismo para un inyector. La varilla 1) de combustible del gobernador está conectada con el tubo de control 2); éste, que está montado en la parte superior de la culata de cilindros debajo de la tapa de balancines, tiene montada la palanca de control 3) El extremo inferior de esta palanca acopla con la horquilla en el extremo de la cremallera de control de combustible.

Figura 117. Ubicación del inyector unitario

Ubicación del inyector unitario y su varillaje de control: 1 varilla de combustible del gobernador, 2 tubo de control, 3 palanca, 4 cremallera, 5 impulsor, 6 balancín, 7 varilla de empuje, 8 levantador, 9 leva



Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

La acción del gobernador, por medio de la varilla 1) de combustible hace girar el tubo de control 2) para mover la cremallera 4) del inyector hacia adentro o afuera, según se requiera, para controlar la cantidad de combustible entregada por el inyector.

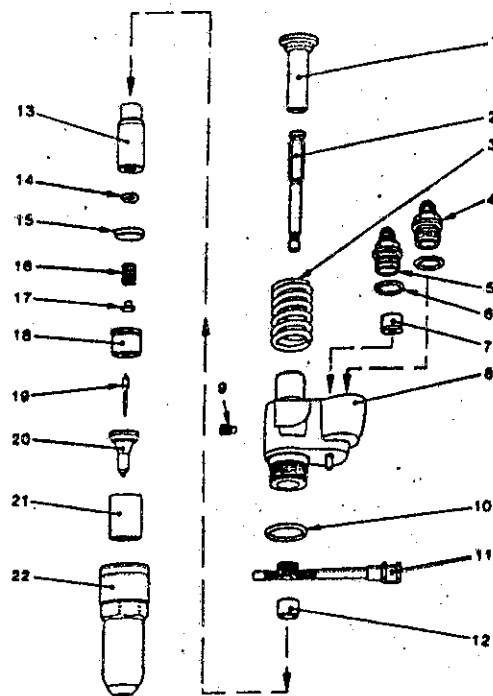
Construcción del inyector.

En la figura 118, que muestra los componentes internos desarmados, se verá que el impulsor 1) y el émbolo 2) se instalan en la parte superior del cuerpo 8) del inyector con el resorte 3) del impulsor en el exterior. La conexión 5) de entrada de combustible se atornilla en el cuerpo. El filtro de admisión está hecho con fibras metálicas comprimidas.

Figura 118. Componentes del inyector unitario

Componentes del inyector unitario:
1 impulsor, 2 émbolo, 3 resorte del impulsor,
4 salida, 5 entrada, 6 junta, 7 filtro, 8 cuerpo,
9 pasador de tope, 10 anillo sellador,
11 cremallera y engrane de control, 12 retén
del engrane, 13 buje, 14 válvula de retención,
15 jaula de válvula de retención, 16 resorte,
17 asiento del resorte, 18 jaula de válvula,
19 aguja, 20 tobera, 21 desviador de derrama,
22 tuerca del inyector

DETROIT DIESEL



Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

La tuerca 22) está atornillada en la parte inferior del cuerpo y retiene la mayor parte de las piezas internas, incluso, la tobera 20) que sobresale por un agujero en la parte inferior de la tuerca.

La cremallera 11) de control se instala en un agujero en el cuerpo del inyector y acopla con el engrane instalado encima del émbolo 2) El agujero en el engranaje tiene un lado plano que coincide con una cara plana correlativa en un lado del émbolo. Esto permite que la cremallera haga girar el engrane y el émbolo y que éste funcione hacia arriba y abajo en el engrane. Las marcas en los dientes se deben alinear al armar.

3.6.3. Desmontaje e instalación del inyector.

Hay que quitar la tapa de balancines para tener acceso al inyector. Después se hace girar el cigüeñal hacia la derecha hasta que los balancines de ese cilindro estén libres o sea que las válvulas estén cerradas. Para tener acceso al inyector se sacan los tornillos del soporte de balancines para separarlos del inyector. Se desconectan los tubos de combustible en el inyector y culata; asimismo, se quita el tornillo y la grapa de sujeción del inyector a la culata. Se aflojan los tornillos de ajuste que sujetan la palanca de control en el tubo de control para sacar la palanca de la horquilla o yugo en el extremo de la cremallera de control.

El inyector ya está libre y se puede sacar de su asiento con una herramienta extractora entre el cuerpo del inyector y la culata. Hay que cubrir el agujero para el inyector en la cubierta, después de sacarlo para impedir la entrada de cuerpos extraños.

Instalación del inyector.

El asiento cónico del tubo para el inyector en la culata de cilindros debe estar libre de partículas de mugre y carbón; hay que llenar el inyector con combustible antes de instalarlo. El tornillo de la grapa se aprieta a la torsión especificada; no hay que apretar en exceso porque puede ocurrir trabazón dentro del inyector. Después de instalar el inyector hay que sincronizarlo; también hay que ajustar la posición de la palanca de control de la cremallera y la holgura de las válvulas de escape, como se describe más adelante.

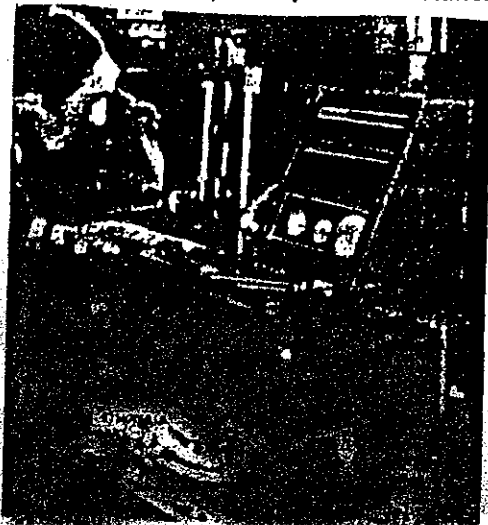
3.6.4. Prueba de inyectores.

Los inyectores se deben probar con un probador especial, como el ilustrado en la Figura 119 para inyectores unitarios. Algunas pruebas son similares a las que se hacen en otros inyectores, pero, como en los unitarios hay bombeo e inyección, se necesitan pruebas adicionales que se efectúan en el probador, llamado también comparador, como sigue.

1. Libre movimiento de la cremallera de control y del émbolo: con esto se determina que el émbolo se mueva con libertad en el inyector y que la cremallera no se trabe.
2. Prueba de apertura de válvula y patrón de atomización: se mueve el impulsador del inyector hacia arriba y hacia abajo para comprobar que la atomización de la tobera sea uniforme. También se determina la presión de apertura para inyección.

3. Prueba de alta presión: se hace funcionar el inyector para producir alta presión, a fin de verificar si hay fugas externas.
4. Prueba de retención de presión: se produce la presión en el inyector y se toma el tiempo para que caiga de 3150 kPa a 1750 kPa. Si el tiempo es menor de 15 segundos es que hay fugas internas excesivas. Las fugas podrían ocurrir entre el émbolo y su cavidad si están muy gastados o entre superficies internas correlativas.
5. Prueba de entrega de combustible: es para comprobar la calibración del inyector con la medición de la cantidad de combustible que descarga al hacerlo funcionar 1000 carreras. En el probador se registran las carreras y se mide con precisión la cantidad de combustible que pasa por la tobera. Esta prueba se hace con la cremallera en la posición para máximo combustible.

Figura 119. Probador para inyectores unitarios



Probador para inyectores unitarios

LUCAS

Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

3.6.5. Reacondicionamiento del inyector.

Para desarmarlo se sujeta en un dispositivo en posición invertida. Se saca la tuerca del inyector de la parte inferior del cuerpo. Con ello se pueden sacar las piezas internas del cuerpo. Para sacar el impulsor y el resorte, se saca el pasador que retiene el impulsor en el cuerpo y se sacan ambos por la parte superior. Se inspeccionan y limpian todas las piezas internas y se elimina el carbón. Las piezas hermanadas se pueden asentar para restaurarles el acabado y ajustes originales. Si un émbolo o su buje están gastados o dañados, hay que reemplazarlos como conjunto, pues, son piezas hermanadas de fábrica.

Se utilizan escariadores (rimas) especiales para limpiar el interior del inyector. Se utilizan escariadores diferentes en el interior de la tobera, el asiento de la tobera en la base de la tuerca y en el cuerpo del inyector. Los orificios de la tobera se limpian con un alambre delgado sujeto en un tornillo de mano.

El exterior de la tobera se puede limpiar con un cepillo con alambres de latón, sin pulir en exceso. No se deben utilizar cepillos de acero porque pueden dañar los orificios de la tobera.

Los conductos internos y los agujeros en el inyector se pueden limpiar con escobillones especiales de alambre.

3.6.6. Ajustes del inyector.

Hay dos ajustes para controlar el funcionamiento de los inyectores:

1. Sincronización del inyector para ajustarlo en relación con el árbol de levas del motor.
2. Palancas de control de la cremallera, en que se ajustan las palancas de acuerdo con la posición de las cremalleras.

Si se recuerda que los inyectores unitarios efectúan las funciones de bombeo y de inyección, el ajuste de la sincronización vendría a ser el equivalente del faseo de una bomba, con el cual se ajustan los elementos entre sí y también se sincronizan con el motor. El ajuste de las palancas de control de las cremalleras equivale a calibrar los elementos de bombeo de los inyectores, es decir, ajustarlos para que entreguen la misma cantidad de combustible.

La sincronización de los inyectores y el ajuste de las palancas de control de las cremalleras se describen en encabezados especiales más adelante.

3.6.7. Gobernador.

Se utilizan diferentes gobernadores en los motores Detroit Diesel y pueden ser mecánicos e hidráulicos, de los tipos de velocidad limitada, de velocidad variable o de velocidad constante. Según la aplicación del motor en que se emplee.

En la figura 120 se ilustra un gobernador de velocidad limitada, que controla la marcha mínima y la velocidad máxima del motor. El gobernador consta de tres subconjuntos:

1. los contrapesos y su cubierta 13)
2. la cubierta de control 7)
3. la tapa 22) de la cubierta de control.

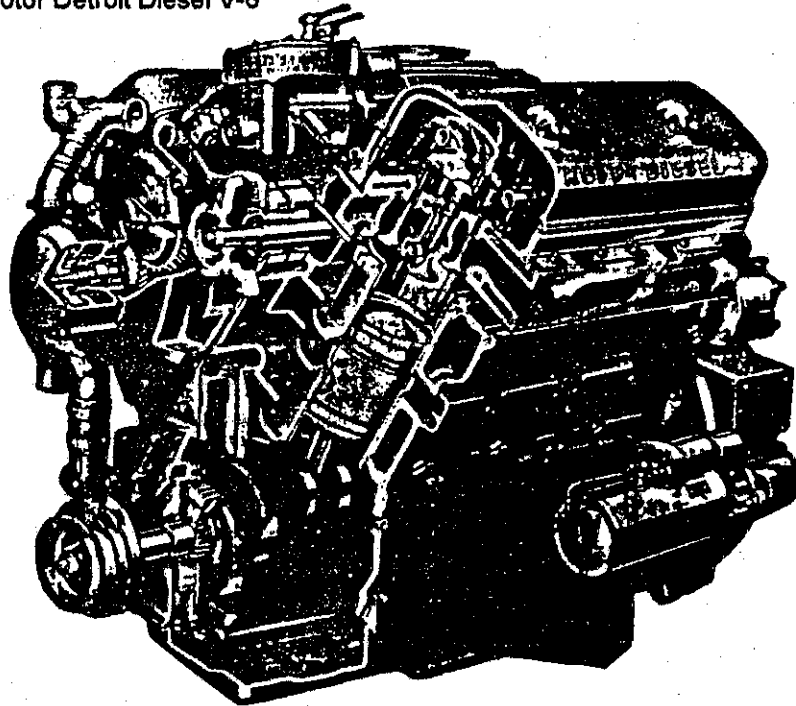
Cuando ese gobernador se instala en un motor en línea, se monta en la parte delantera del soplador cuyo rotor superior lo impulsa, con lo que, cuando el motor está en marcha, los contrapesos 16) del gobernador girarán junto con el eje 15).

La fuerza centrífuga de los contrapesos en rotación se convierten en movimiento lineal del eje 12) de contrapesos y se transmite por medio del eje 8) vertical de mando a la palanca 10) del eje de accionamiento dentro de la sección de la cubierta de control del gobernador. Un extremo de la palanca actúa contra los resortes del gobernador de alta velocidad 20) y de baja velocidad 24); el otro extremo tiene un punto de apoyo en el cual gira la palanca diferencial 9).

velocidad. Cuando se aumenta la velocidad del motor hasta el punto en que la fuerza centrífuga de los contrapesos vence la fuerza del resorte de alta velocidad, el gobernador vuelve a tomar el control directo del motor y la velocidad máxima.

Una varilla de control de combustible, conectada entre la palanca diferencia 9) en el gobernador y el tubo de control en la culata, es el componente con el cual el gobernador cambia la graduación de combustible con las cremalleras de control de los inyectores (Fig. 121).

Figura 121. Motor Detroit Diesel V-6



Motor Detroit Diesel V-6, vista en corte de un motor serie V-71 de 6 cilindros, dos tiempos, de alrededor de 7 litros de cilindrada. Los componentes que se ven son: inyector unitario, cremallera-palanca de control y tubo de control en la culata de cilindros; tres de las cuatro válvulas de escape, la caja de aire y lumbreras de admisión de aire en la camisa del cilindro; el pistón con cinco anillos; el gobernador situado en la parte superior del motor entre los dos bancos de cilindros; la bomba del agua impulsada por engranes en la parte delantera del banco derecho y la bomba del aceite.

Este motor es V-6 con los bancos de cilindros a un ángulo de 60° entre sí. Hay un motor similar con ocho cilindros. Los motores de la serie V-71 pueden tener 6, 8, 12 o 16 cilindros y todos son del mismo diseño básico.

DETROIT DIESEL

Fuente: Mecánica para Motores Diesel. Teoría, Mantenimiento y Reparación. Ed May. Editorial McGraw Hill, 1988

La marcha mínima del motor se determina con la fuerza centrífuga necesaria para balancear la fuerza del resorte 24) de baja velocidad. Para ajustar la marcha mínima se gira el tornillo 19) de ajuste de marcha mínima para cambiar la fuerza del resorte de baja velocidad.

La velocidad máxima sin carga se determina con la fuerza centrífuga necesaria para balancear la fuerza del resorte de alta velocidad. Esta fuerza se puede ajustar apretando o aflojando el retén 18) del resorte de alta velocidad para aumentar o disminuir la fuerza del resorte.

4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPO DE CALIBRACIÓN Y PRUEBA

4.1. Banco universal de prueba para bombas de inyección de diesel.

Estos equipos son construidos por los distintos fabricantes de bombas de inyección, también por compañías que se dedican a la fabricación de equipos de precisión.

En general, estos equipos son construidos para determinar los parámetros que se necesitan al hacer un overhaul a una bomba de inyección. Parámetros como pueden ser: la temperatura a la cual suministra el diesel el motor justo antes de la bomba de inyección, asimismo la presión del combustible, parámetros que deben ser fácilmente ajustables y medibles en el equipo de prueba.

El equipo, básicamente, debe medir el volumen de combustible a inyectar por la bomba a ciertas revoluciones de la misma, por cilindro, si la bomba estuviera dotada con un control de regulación, aire combustible, la presión o el vacío, si el motor es turboalimentado o normalmente aspirado. Se calibran, a la vez, la cantidad de golpes de inyección que la bomba realice en estas circunstancias. En algunos casos como las bombas rotativas también se puede lograr una medida de avance.

Cada sistema tendrá sus cualidades y factores que se deben tomar en cuenta en el momento de realizar una prueba en el banco, las cuales serán

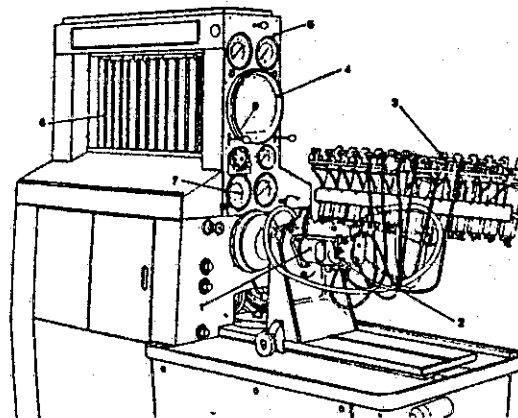
proporcionadas por el fabricante del motor que es quien da el ajuste final al sistema.

En la gráfica se puede observar un banco de pruebas, señalado con los componentes principales.

Figura 122. Bomba de distribuidor en el probador

Bomba de distribuidor en el probador: 1 bomba, 2 tubos de entrega, 3 juego de inyectores, 4 tacómetro, 5 manómetro, 6 probetas graduadas, 7 manómetro para el combustible.

Lucas-CAV



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

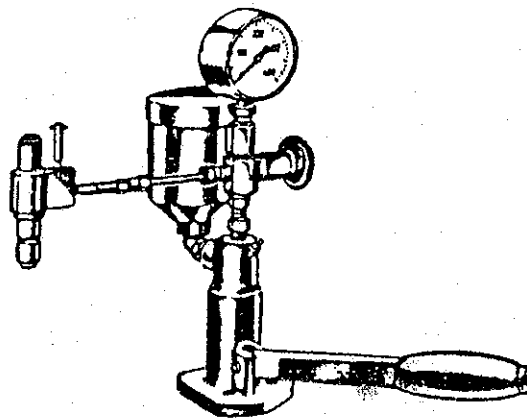
4.2. Equipos para pruebas de inyectores

La verificación del nuevo ajuste de la presión en la abertura de un inyector se efectúa con el dispositivo de comprobación de inyectores. La presión de abertura se da en las instrucciones de manejo del motor y se ajusta modificando la tensión del resorte de presión, presionando, lentamente, hacia abajo, a mano, la palanca; el inyector tiene que inyectar al momento con un chirrido, mientras el manómetro indica la presión de abertura ajustada.

Si el inyector cierra bien en su abertura no se tienen que formar gotas, al comprobar la forma de chorro y el chirrido de los inyectores de tetón de estrangulación hay que desconectar el manómetro. Se empuja ahora, rápidamente, hacia abajo la palanca y si el inyector se haya en perfecto estado se oirá al abrir un chirrido agudo y saltará un chorro cónico cerrado limpio, sin dispersiones laterales. Si se acciona lentamente la palanca, el combustible tiene que salir en forma de cordón, casi sin pulverizar y con un chirrido suave. No obstante, el chorro puede estar repartido, presentar una ligera difusión. Entre los movimientos rápidos y lentos de la palanca, hay un intervalo en el que aparece en los inyectores de estrangulación de un chorro múltiple sin chirrido.

Como al trabajar con el dispositivo de comprobación de inyectores aparecen siempre altas presiones, hay que tener mucho cuidado para evitar accidentes.

Figura 123. Dispositivo para verificación de inyectores



Dispositivo para verificación de inyectores.

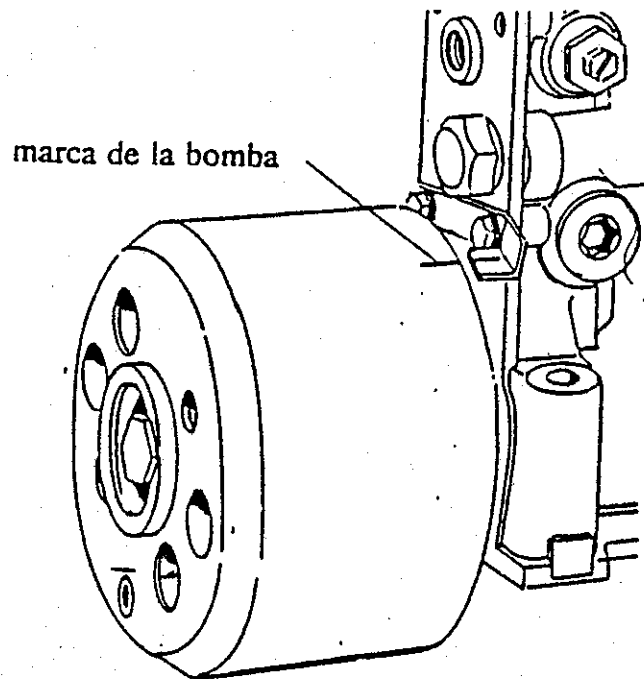
Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5. MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS

5.1. Alineación de marcas

1. Rotar motores en sentido de rotación hasta que el cilindro 1 se encuentre en compresión.
2. Alinear marca del volante (FB, IE).
3. Alinear marca de la bomba (rotar en sentido de rotación (R=derecha L=izquierda. Eliminar el juego del variador de avance (si las marcas no alinean, corregir moviendo la bomba).

Figura 124. Alineación de marcas



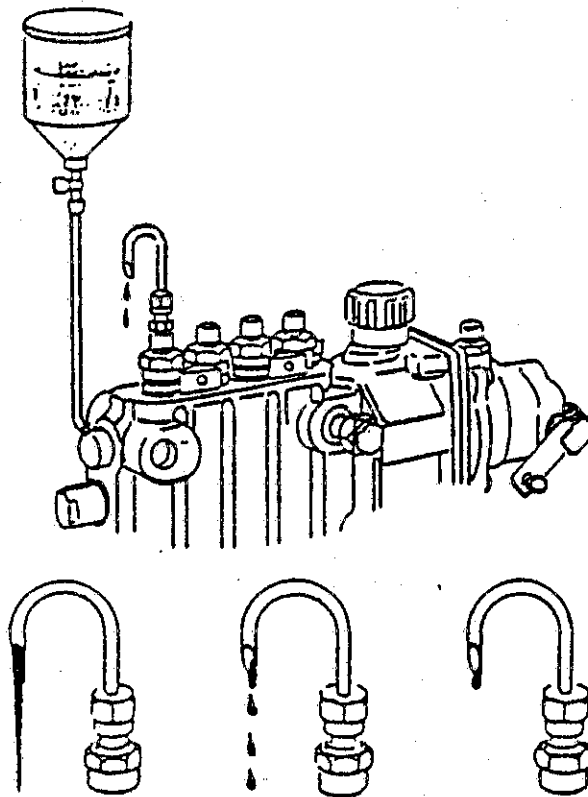
Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.2 Método de goteo.

1. Conectar el depósito con Diesel a la entrada de la bomba.
2. Remover la válvula de presión.
3. Mover cremallera a entrega máxima.
4. Rotar motor hasta que pase el flujo de Diesel (unas gotas por segundo).

Las marcas deben alinear, en caso contrario, mover la bomba hasta que alineen las marcas.

Figura 125. Método de goteo

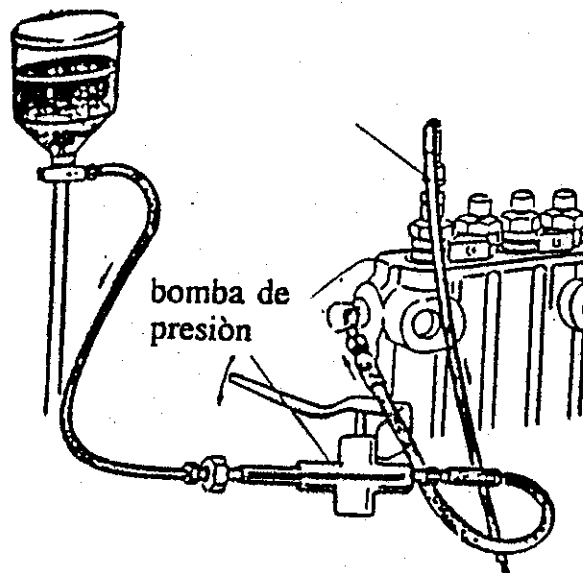


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos.
Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.3. Método de goteo con alta presión

1. Conectar bomba de presión a la entrada de la bomba.
2. Tapar tubo de retorno.
3. Todos los tubos de alta presión, menos el primer cilindro deben de estar conectados.
4. Mover cremallera a entrega máxima.
5. Aplicar presión, Diesel debe fluir del primer cilindro.
6. Rotar motor hasta que el Diesel pare de fluir (unas gotas por segundo).
7. Si las marcas no alinean, corregir moviendo la bomba.

Figura 126. Método de goteo con alta presión.

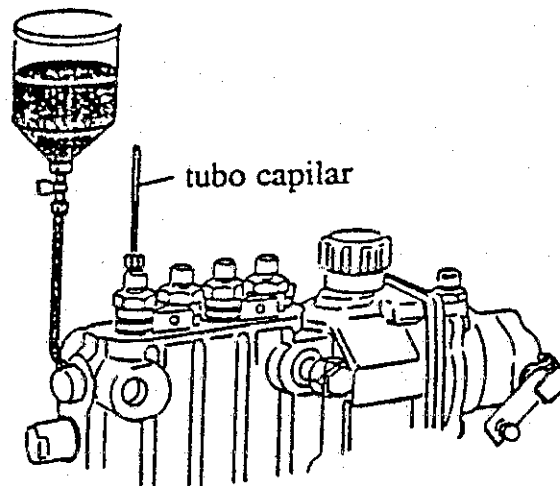


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos.
Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.4. Tubo capilar

1. Montar tubo capilar en primer cilindro.
2. Purgar la bomba y llenar el tubo.
3. Poner cremallera a entrega máxima.
4. Mover el motor hasta que se mueva al nivel en el tubo capilar = inicio de entrega. (Las marcas deben alinear, en caso contrario, corregir moviendo la bomba).

Figura 127. Tubo capilar.

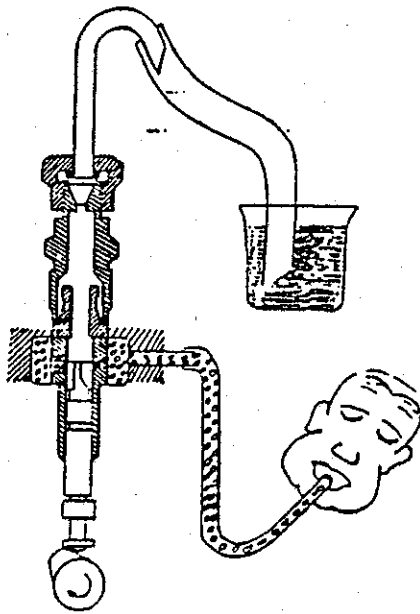


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos.
Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.5. Método de soplar

1. Remover la válvula (1 Cl.)
2. Conectar manguera transparente a la entrada de la bomba y meterle un vaso con Diesel.
3. Aplicar presión de aire al cilindro, mover el motor hasta que deje de salir aire de la entrada (las marcas deben de alinear, corregir moviendo la bomba).

Figura 128. Método de soplar.

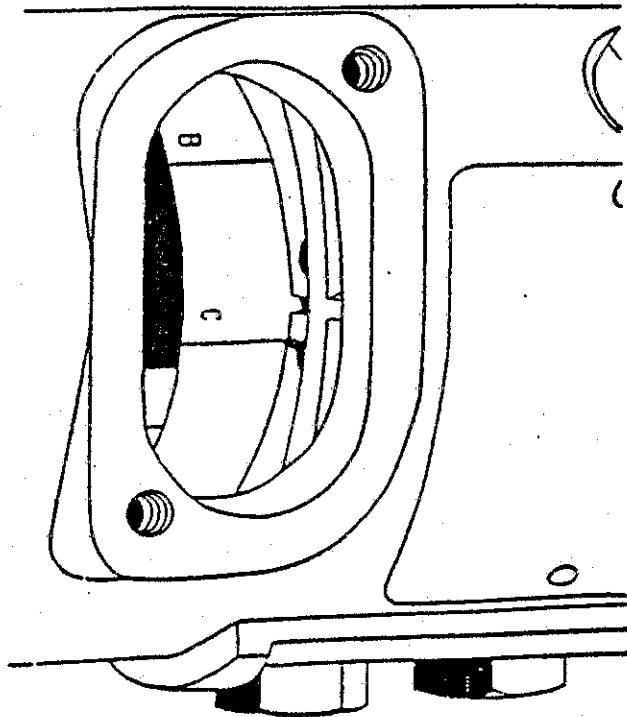


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill, 1992

5.6. Poner a tiempo bomba CAV

- Las bombas CAV tienen eje propulsor con una ranura que no permite montar, equivocadamente, la bomba (éste es sólo un ajuste rústico).
- Quitar tapadera y controlar que la marca alinee.

Figura 129. Poner a tiempo bomba CAV



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

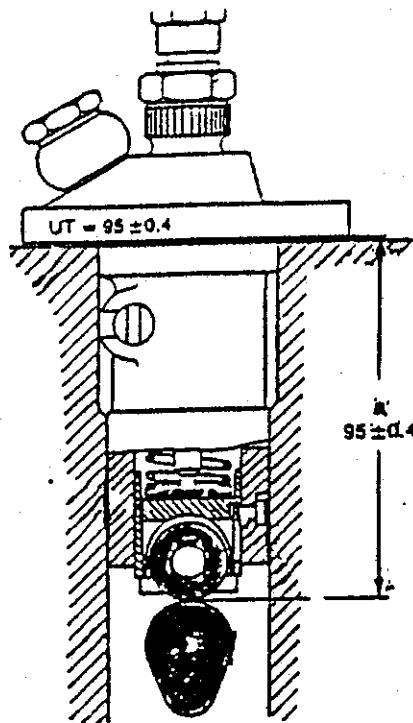
Control de las marcas.

- Aplicar a 20 bar de presión en el conector del primer cilindro.
- Rotar la bomba hasta sentir resistencia = éste es el principio de entrega (marcas o mover hasta que las marcas alineen).

5.7. Poner a tiempo bombas PFR

- Poner el primer cilindro en traslape de válvulas.
- Medir con vernier la medida indicada y corregir con distanciadores.

Figura 130. Poner a tiempo bombas PFR.

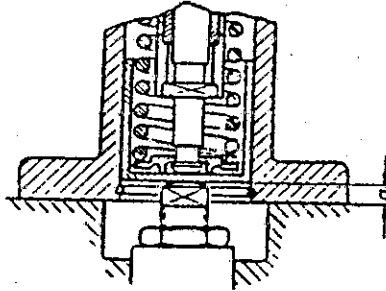


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.8. Poner a tiempo bombas PF.

- Poner el primer cilindro en traslape de válvulas.
- Ajustar medida con el tornillo de ajuste. (PFP bombas según marca).

Figura 131. Poner a tiempo bombas PF

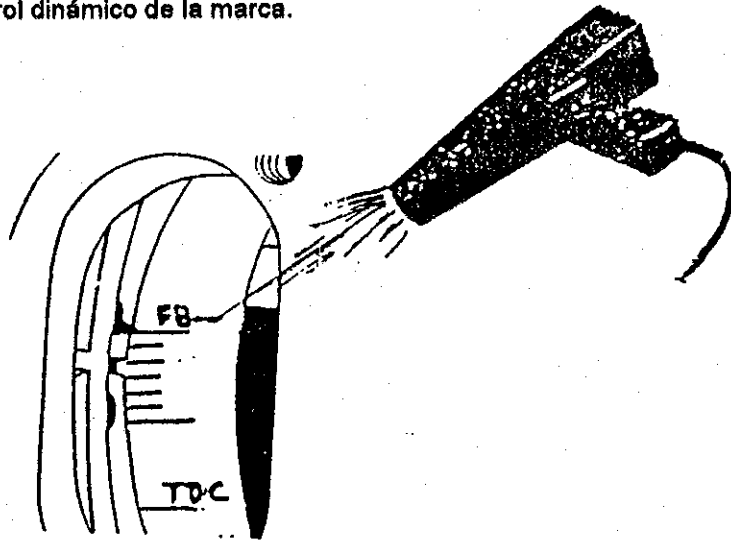


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Etridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.9. Control dinámico de la marca.

1. Conectar tester, según manual del fabricante. Atención al sensor de impulso, debe quedar cerca de la bomba. Una vez fijado no mover el sensor, es una pieza delicada que se destruye fácilmente.
2. Arrancar el motor y controlar la marca con la lámpara estroboscópica. La marca debe ser indicada por el fabricante del motor, no corresponde a la marca estática.

Figura 132. Control dinámico de la marca.

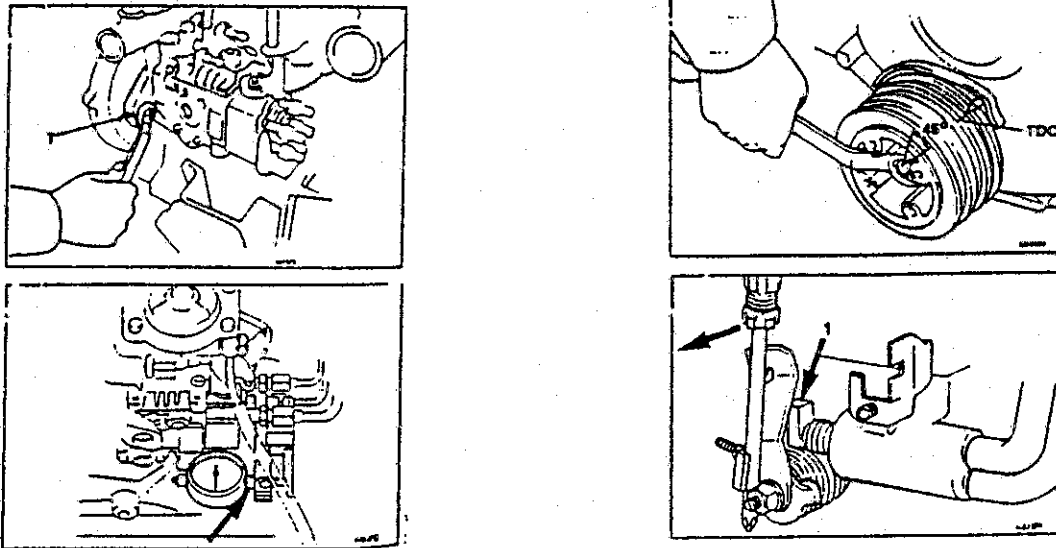


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.10 Bombas rotativas tipo denso.

1. Montar la bomba así que alineen las ranuras en el eje y el engranaje.
2. Remover el tapón y montar reloj comparador.
3. Girar motor a 45 grados, aproximadamente, antes del PMS (TDC).
4. Mover el acelerador de aceleración frío en 20 grados aproximadamente y poner una pieza de 8.5 - 10 mm de distancia entre palanca y propulsor.
5. Graduar el reloj comparador a cero.
6. Mover el rotor hasta PMS y leer el reloj comparador (medida según datos del fabricante).
7. Corregir la medida moviendo la bomba (indicación para motor Toyota RL).

Figura 133. Bombas rotativas tipo denso

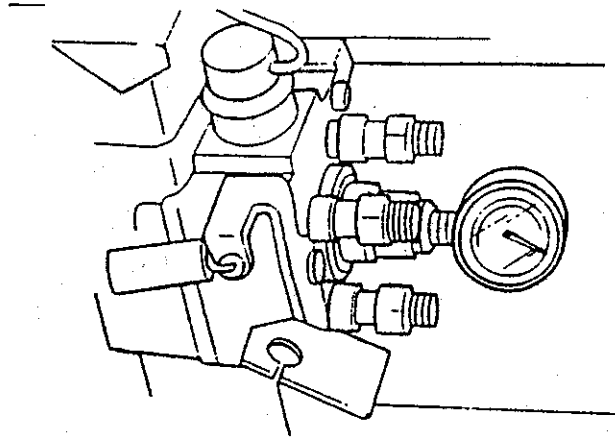


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.11 Bombas rotativas Bosch.

1. Poner motor en PMS del primer cilindro (marcas deben alinear).
2. Montar reloj comparador y poner a 2.5 mm, aproximadamente.
3. Rotar motor en sentido contrario hasta que el reloj comparador no se mueva.
4. Poner en cero el reloj comparador.
5. Rotar el motor hasta la marca PMS (OT, TDC) y comparar la lectura con los datos del fabricante, corregir moviendo la bomba. (UW no mover al acelerador de aceleración en frío).

Figura 134. Bombas rotativas Bosch

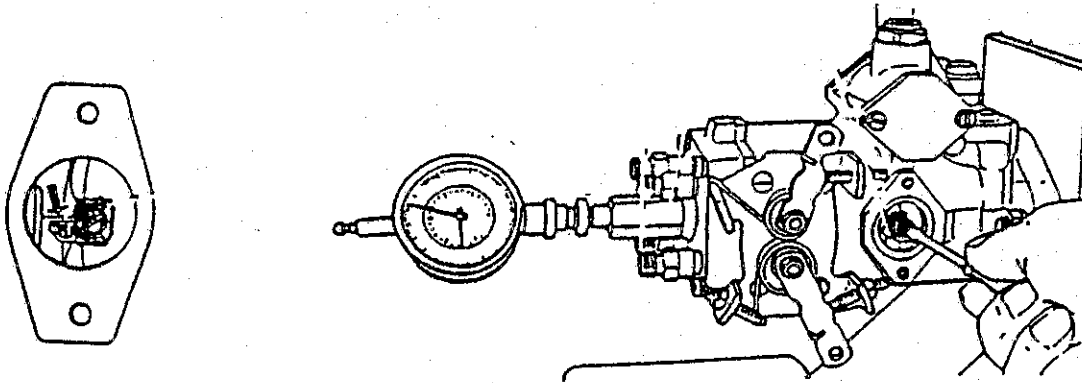


Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos. Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

5.12 Bombas sin posibilidades de fijar.

1. El motor debe tener marca de PMS marca de inicio de inyección y marca de PO=Bomba en cero.
2. Poner motor en un cilindro a la marca PC.
3. Rotar bomba hasta que la leva del primer cilindro llegue a topar =cero de la bomba (el pistón no se movió todavía).
4. Montar la bomba y poner en inicio de entrega (FB) en la medida indicada por el fabricante.

Figura 135. Bombas sin posibilidades de fijar



Fuente: Diesel Mechanics. Erich J. Schulz & Ben L. Evridge. 3ª. Edición. Estados Unidos.
Editorial Macmillan/McGraw-Hill. 1992

CONCLUSIONES

1. El desarrollo de este trabajo evidencio la falta de información sobre el tema, por lo cual el seccionamiento de los 6 sistemas mas comunes en el mercado guatemalteco, ayuda a comprender el funcionamiento interno de cada sistema y a reconocer las similitudes entre uno y otro sistema independientemente del fabricante o el diseñador.
2. Los mecanismos auxiliares de los sistemas de inyeccion diesel son un factor indispensable en la elección de la aplicación del motor cualquiera que fuere su aplicación en el mercado.
3. Los elementos de diseño de los sistemas de inyección de Diesel varían en algunos mecanismos, pero, la función de los mismos alcanza el propósito común de inyectar el volumen correcto que necesita cada cilindro del motor en el momento exacto en el cual se alcanza la temperatura correcta en el cilindro.
4. Los gobernadores centrifugos son el enlace entre el motor y los mecanismos internos del sistema de inyección de diesel.

RECOMENDACIONES

1. Las calibraciones de los sistemas de inyección corresponden a un estudio aparte, lo cual genera un tema a desarrollar al igual que el diseño y construcción de los bancos de prueba para inyectores y bombas de inyección, por lo cual se recomienda el desarrollo de los mismos.
2. La implementación de este documento, en el laboratorio de motores de combustión interna, su estudio y aplicación con el material didáctico.
3. La práctica de puesta a punto de una bomba de inyección en un motor diesel y observar el efecto de adelanto y atraso de la inyección en práctica.
4. El estudio de la aplicación de estos sistemas de inyección y sus aplicaciones con la utilización de otros combustibles diferentes al Diesel.
5. Desarrollar el tema de interacción del combustible en los elementos del motor y su desgaste.

BIBLIOGRAFIA

1. BOHNER, Max y otros. Tecnología del Automóvil. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 1985.
2. BURGHART, M. David. Ingeniería Termodinámica. 2ª. Edición. Estados Unidos: Editorial Harla, 1982.
3. CUMMINS Engine Company, Inc. Motores Diesel Automotrices: Manual de operación y mantenimiento internacional.
4. "MANUAL Bosch". Equipo de inyección para motores diesel (2). Instrucción técnica.
5. MAY, Ed. Mecánica para motores diesel: teoría, mantenimiento y reparación. México: Editorial McGraw Hill, 1988.
6. SCHULZ, Erick y Ben L. Evrldge. Diesel Mechanics. 3ª. Edición. Estados Unidos: Editorial Macmillan/McGraw-Hill, 1992