

DENSO

Manual de Servicio (Descripción)

**Sistema de inyección de combustible
para bombas en línea**

INTRODUCCIÓN

Debido a la economía de su funcionamiento, el motor diesel tiene una amplia gama de aplicaciones que va desde los vehículos pequeños hasta los de gran tamaño. Además, su bomba de inyección le agrega funciones que lo valorizan aún más. El presente manual describe todas las bombas en línea, los reguladores y los otros componentes utilizados en las bombas de inyección en línea y que han sido diseñados y desarrollados por Denso. El contenido de este manual está centrado en la construcción básica y el funcionamiento de los componentes de la bomba (unidad de bomba, regulador, bomba de alimentación de combustible, variador automático de avance y acoplamiento) y en la construcción y funcionamiento del cuerpo de inyector. Nos permitimos esperar que el presente manual será empleado como referencia por las personas que deseen ampliar el conocimiento y comprensión del funcionamiento de las bombas en línea, de los reguladores, y de los otros componentes.

© 1997 DENSO CORPORATION

Todos los derechos reservados. Ni este libro ni las partes que lo constituyen pueden ser reproducidos ni copiados por ningún procedimiento sin la autorización escrita del editor.

TABLA DE MATERIAS

Página

1. DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DIESEL	1
1-1. COMPARACIÓN ENTRE EL MOTOR DIESEL Y EL MOTOR DE GASOLINA	2
1-2. PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL MOTOR DIESEL	2
1-3. SISTEMAS DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN	4
1-4. PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE	5
1-5. COMBUSTIBLE	5
2. SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	7
2-1. SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DIESEL	8
2-2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	8
2-3. AJUSTE DEL VOLUMEN DE INYECCIÓN	9
2-4. AJUSTE DEL CALADO DE LA INYECCIÓN	10
2-5. TIPOS DE BOMBAS DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	10
3. BOMBA DE INYECCIÓN EN LÍNEA	11
3-1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES Y DE SUS FUNCIONES	12
3-2. TIPOS DE BOMBAS EN LÍNEA	13
3-3. BOMBA TIPO A	14
3-4. BOMBA TIPO NB (EP-9)	26
3-5. BOMBA TIPO P	33
3-6. COMPARACIÓN DE LAS DIMENSIONES Y DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNIDADES DE BOMBA EN LÍNEA	35
3-7. LUBRICACIÓN DE LA BOMBA	36
3-8. MONTURA Y ACCIONAMIENTO	37
4. REGULADOR	39
4-1. FUNCIONES DEL REGULADOR	40
4-2. TIPOS DE REGULADOR	40
4-3. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO	41
4-4. REGULADOR TIPO RU	44
4-5. REGULADOR TIPO R721	52
4-6. REGULADOR TIPO R722	68
4-7. REGULADORES TIPO R811 Y R812	75
4-8. REGULADOR TIPO R801	76
4-9. REGULADOR TIPO RSV	87
4-10. REGULADOR TIPO COMBINADO	96
4-11. DISMINUCIÓN DE RÉGIMEN	98
5. BOMBA DE ALIMENTACIÓN	99
5-1. DESCRIPCIÓN	100
5-2. TIPO PISTÓN DE SIMPLE EFECTO	101
5-3. BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE DE DOBLE EFECTO	103
5-4. BOMBA DE CEBADO	104

5-5. PREFILTRO	104
6. VARIADOR AUTOMÁTICO DE AVANCE Y ACOPLAMIENTO	105
6-1. DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR DE AVANCE	106
6-2. TIPOS DE VARIADOR DE AVANCE	107
6-3. VARIADOR DE AVANCE TIPO SA	109
6-4. VARIADOR DE AVANCE TIPO SP	111
6-5. VARIADOR DE AVANCE TIPO SCZ	112
6-6. VARIADORES DE AVANCE TIPO SA0, SA1 Y SA2	112
6-7. CALADO DE LA INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE Y SUS EFECTOS	116
6-8. ACOPLAMIENTO	116
7. INYECTORES Y PORTAINYECTORES	119
7-1. TIPOS DE PORTAINYECTOR	120
7-2. CONSTRUCCIÓN DEL PORTAINYECTOR	121
7-3. FUNCIONAMIENTO DEL PORTAINYECTOR	122
7-4. PORTAINYECTOR DE DOS RESORTES	122
7-5. INYECTORES DE COMBUSTIBLE	124

1

DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DIESEL

1. DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DIESEL

1-1. COMPARACIÓN ENTRE EL MOTOR DIESEL Y EL MOTOR DE GASOLINA

La tabla siguiente compara el motor diesel y el motor de gasolina.

	Motor diesel	Motor de gasolina
Ciclo de combustión	Ciclo Sabathé (mixto)	Ciclo Otto
Relación de compresión	15 a 22	5 a 10
Eficacia térmica	30 a 40 %	25 a 30 %
Consumo específico de combustible	140 a 210 g/CV · h	200 a 280 g/CV · h
Formación de mezcla	Después de la compresión, inyectada en forma atomizada, y mezclada	Mezclada en forma gaseosa antes de la compresión
Combustible	Gasóleo	Gasolina
Volumen de consumo de combustible	30 a 40 %	100 %
Coste del combustible	50 a 60 %	100 %

1-2. PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL MOTOR DIESEL

El motor diesel se diferencia del motor de gasolina en el sentido de que en él solamente es aspirado aire en el cilindro, en el que el aire es comprimido a alta presión y a alta temperatura. Justo antes de que el pistón llegue al punto muerto superior, el gasóleo, gas-oil, es introducido en forma atomizada e induce la combustión mediante el encendido espontáneo de la mezcla. Por esta razón, el motor diesel necesita que la relación de compresión sea de aproximadamente 15 a 22 y que la temperatura del aire comprimido sea superior a 500 °C.

Después de que el combustible ha sido inyectado por el inyector en el cilindro, tiene lugar la combustión cuyo proceso puede dividirse en las cuatro fases siguientes. (Véase figura 1-1.)

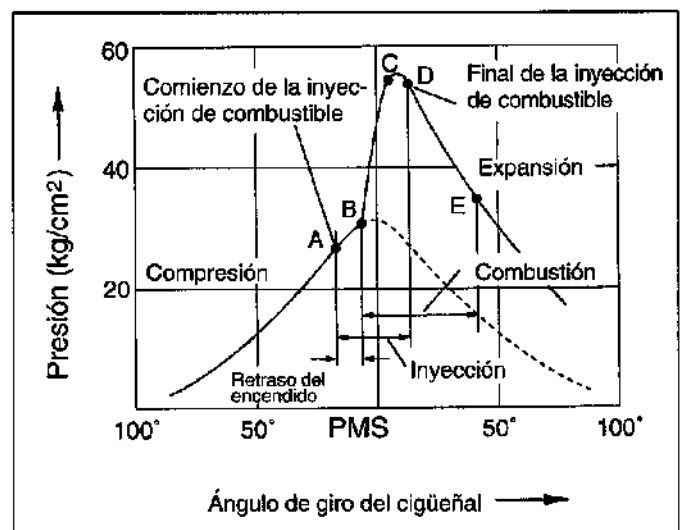


Figura 1-1 Proceso de combustión en el motor diesel

(1) Primera fase : Retraso del encendido (A-B)

En la fase de retraso o retardo del encendido, el gasóleo que es inyectado en forma vaporizada es calentado por el aire comprimido que hay en el cilindro, y su temperatura se aproxima de la temperatura de encendido. Debido a que esta fase dura relativamente poco tiempo, no causa un repentino aumento de la presión en el cilindro; sin embargo, ya que el tiempo de este período de retraso tiene una influencia considerable en la combustión, él debería ser muy corto. Además, la duración de esta fase es influida por la facilidad de encendido del combustible, por la presión de compresión y por las condiciones de la inyección del combustible.

(2) Segunda fase : Propagación de la llama (B-C)

Hacia el fin de la fase de retraso del encendido, se ha formado una mezcla de combustible de aire y de combustible en varias partes del cilindro. Cuando una o varias partes de la mezcla de aire y combustible se encienden en el punto B, la propagación de la llama es por todas partes extremadamente rápida, y la mezcla de aire y combustible se enciende casi simultáneamente causando el súbito aumento de la presión. Este aumento de la presión está asociado con el volumen de combustible inyectado en forma atomizada durante la fase de retardación o retraso del encendido. En el punto C, que está situado al fin de esta etapa, la mayoría del combustible inyectado es quemado.

(3) Tercera fase : Combustión directa (C-D)

La inyección de combustible continúa incluso después del punto C del gráfico, pero debido a la llama que se produjo entre los puntos B y C, el combustible es quemado al mismo tiempo que es inyectado. Por consiguiente, cualquier cambio de la presión que ocurra durante el punto C y D puede ser ajustado, en cierta medida, mediante la regulación apropiada del volumen de combustible inyectado.

(4) Cuarta fase : Combustión tardía (D-E)

Los gases de combustión se expanden, pero todo el combustible inyectado que no ha sido quemado hasta este momento se quema durante este período de expansión.

Cuando este período se prolonga, la temperatura de escape aumenta y esto reduce la eficacia térmica. Por consiguiente, esta fase de combustión tardía debe ser mantenida tan corta como sea posible. El tamaño, la distribución y el contacto de las partículas de combustible con el aire afectan considerablemente el proceso de combustión durante este período.

Así entonces, en el proceso de combustión pueden distinguirse cuatro etapas. La fase de retraso del encendido de la mezcla y la fase de propagación de la llama pueden ser consideradas como fases de desarrollo que llevan directamente a la fase de combustión propiamente tal. Las condiciones en las que tiene lugar esta fase de desarrollo influyen significativamente la combustión. Consiguientemente, en términos de mantenimiento del motor, los puntos esenciales son: la adecuada presión inicial de inyección del inyector y la condición de vaporización del combustible, así como la presión de compresión y el calado de la inyección.

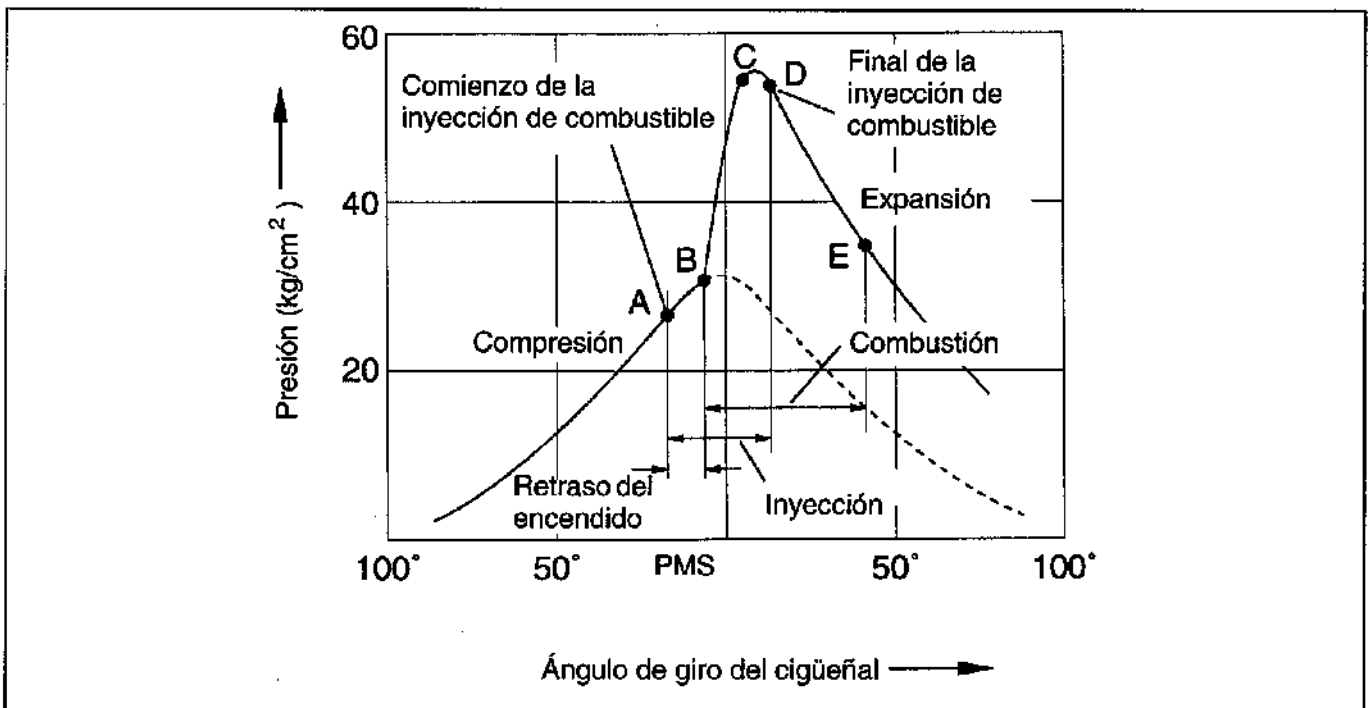


Figura 1-2

1-3. SISTEMAS DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN

(1) Sistema de cámara de precombustión

Construcción	Algo compleja
Relación de compresión	16 a 22
Arranque	Requiere un dispositivo de precalentamiento
Máximo (rpm)	4.000, aproximadamente
Inyector	Tipo espiga
Presión de abertura del inyector (kg/cm ²)	80 a 150
Influencia del sistema de inyección de combustible	Raramente afectada

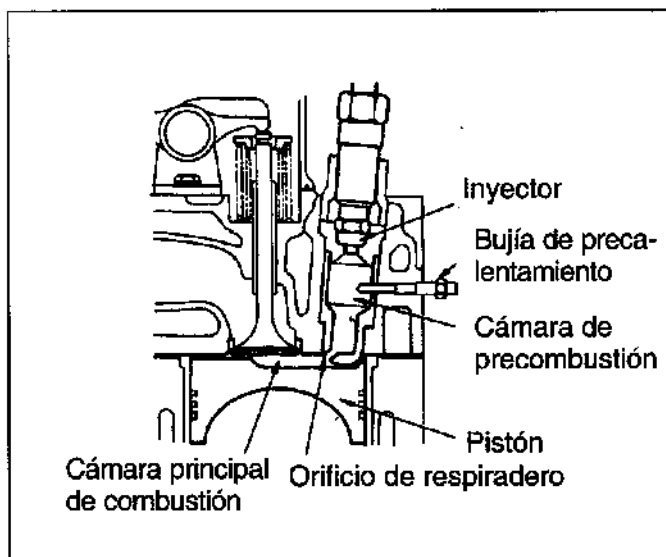


Figura 1-3 Sistema de cámara de precombustión

(2) Sistema de cámara de turbulencia

Construcción	Algo compleja
Relación de compresión	16 a 22
Arranque	Requiere un dispositivo de precalentamiento
Máximo (rpm)	4.500, aproximadamente
Inyector	Tipo espiga
Presión de abertura del inyector (kg/cm ²)	80 a 150
Influencia del sistema de inyección de combustible	Raramente afectada

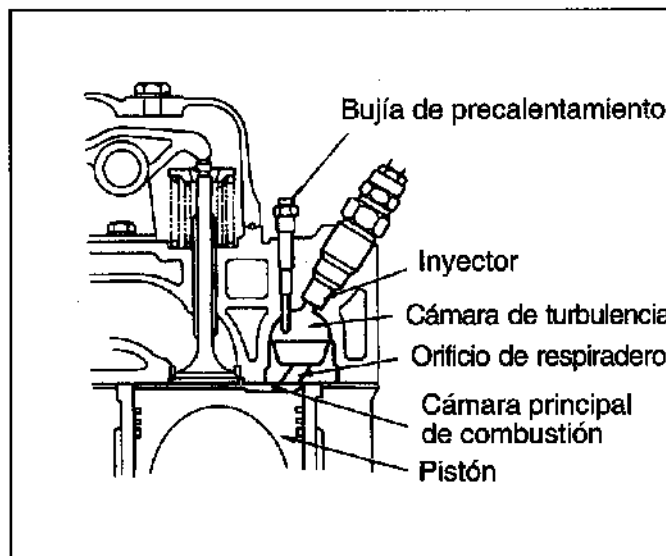


Figura 1-4 Sistema de cámara de turbulencia

(3) Sistema de inyección directa

Construcción	Simple
Relación de compresión	12 a 20
Arranque	Fácil
Máximo (rpm)	4.000, aproximadamente
Inyector	Tipo orificio
Presión de abertura del inyector (kg/cm ²)	180 a 300
Influencia del sistema de inyección de combustible	Fácilmente afectada

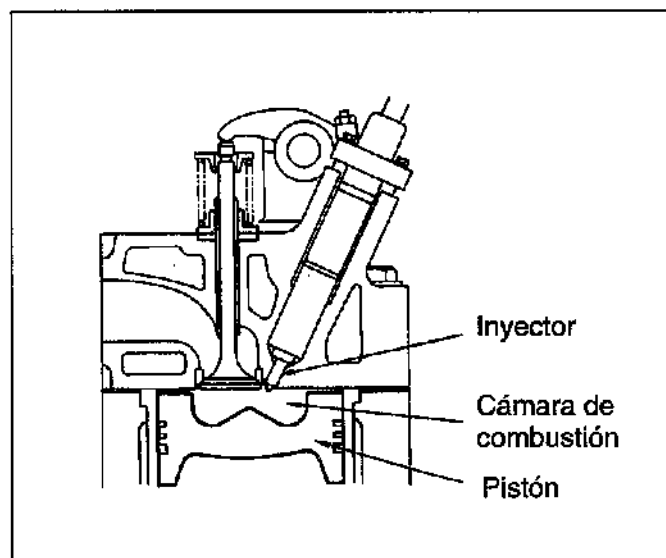


Figura 1-5 Sistema de inyección directa

1-4. PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE

Debido a que es imposible—en el cortísimo intervalo de tiempo que dura la combustión—que un motor en el mundo real utilice efectivamente todo el aire que ha entrado en el cilindro, la cantidad de combustible inyectado debe ser limitada a un volumen inferior al requerido incluso durante el funcionamiento a carga completa.

Inversamente, se puede decir que se debe suministrar un volumen de aire que exceda el volumen requerido para la combustión del combustible inyectado. Y el porcentaje de este aire se denomina porcentaje de exceso de aire.

$$\text{Porcentaje de exceso de aire} = \frac{\text{Volumen efectivo de aire suministrado}}{\text{Volumen teórico de aire necesario para la combustión}} \dots\dots\dots (1-1)$$

Entre los elementos que determinan la excelencia de la cámara de combustión está el hecho de que el valor del porcentaje de exceso de aire obtenido mediante la fórmula 1-1 se aproxime a 1. Un motor que utiliza un sistema de cámara de precombustión se caracteriza por lo bajo de este valor porque la cámara de precombustión aprovecha la bomba de aire para aumentar el porcentaje de utilización del aire en la cámara principal de combustión.

1-5. COMBUSTIBLE

Los motores diesel de los automóviles utilizan gasóleo y los motores diesel de baja velocidad utilizados en buques utilizan fuel-oil (aceite de quemar).

La gasolina, queroseno, gasóleo (gas-oil) y fuel-oil son productos de la refinación del petróleo. El punto de ebullición del gasóleo varía entre 200 °C y 330 °C, su gravedad específica varía entre 0,82 y 0,86 y su poder calorífico es de 10.000 a 11.000 Kcal/kg. El gasóleo se parece mucho al queroseno, pero el gasóleo es ligeramente más amarillento y viscoso.

(1) Inflamabilidad del gasóleo

- a. La inflamabilidad es la propiedad que tiene un combustible de encenderse espontáneamente, incluso sin la intervención de una fuente exterior de encendido.

Cuando se colocan gotas de gasolina y de gasóleo sobre una placa de acero caliente, el gasóleo se enciende—después de un momento—y se quema produciendo una llama, pero la gasolina se evapora inmediatamente sin quemarse. Esto indica que la inflamabilidad del gasóleo es mejor que la de la gasolina. La temperatura a la que el combustible se enciende se denomina punto de inflamación. Mientras más bajo es el valor de esta temperatura, mejor es la inflamabilidad.

Debido al hecho de que el funcionamiento del motor diesel se funda en la combustión del combustible causada por el calor de compresión del aire, la inflamabilidad del combustible es una propiedad importante para el funcionamiento del motor diesel. Así entonces, la inflamabilidad influye en el tiempo de retraso del encendido, que es el tiempo que transcurre entre la introducción de combustible en la cámara de combustión y el momento cuando él empieza a quemarse.

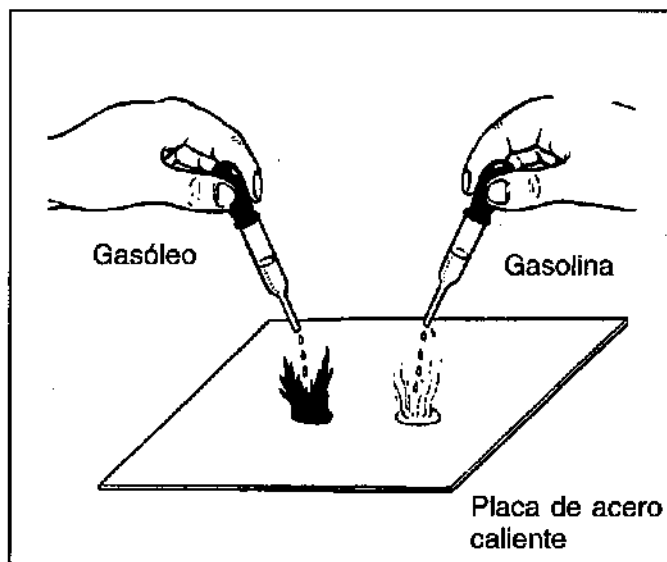


Figura 1-6 Inflamabilidad del gasóleo

- b. El índice de cetano indica la inflamabilidad de un combustible para motores diesel.

El valor numérico del índice de cetano indica la inflamabilidad de un combustible mediante la relación de la mezcla de combustibles de referencia (cetano ($C_{16}H_{34}$) y α -metilnaftaleno ($C_{11}H_{10}$)). A la inflamabilidad del cetano se le atribuye el índice de cetano 100, al α -metilnaftaleno, que tiene una baja inflamabilidad, se le atribuye el índice 0. El volumen de cetano contenido en el combustible de referencia es representado por un porcentaje. Así por ejemplo, el gasóleo a cuya inflamabilidad se le ha asignado el índice cetano 45, está compuesto por 45 % de cetano y 55 % de α -metilnaftaleno. Debido a que un combustible con índice de cetano bajo tiene una mala inflamabilidad, su retraso de encendido es más largo, y esto es causa de que el motor pueda manifestar los golpeteos de motor diesel.

(2) Viscosidad del gasóleo

La viscosidad es una importante propiedad del combustible que es utilizado en el motor diesel. Si la viscosidad es demasiado alta, el combustible es inyectado en la cámara de combustión en forma de grandes partículas, cuyas cualidades de disipación son mediocres, lo que es causa de una mediocre combustión. Por otra parte y debido a que el combustible tiene la función adicional de lubricación del sistema de combustible –incluyendo la bomba de inyección e inyectores– cuando la viscosidad del combustible es demasiado baja estas piezas no serán lubricadas suficientemente, e incluso pudiera suceder que hasta se agarroten.

(3) Contenido de azufre en el gasóleo

Durante la combustión, el azufre contenido en el combustible se transforma en dióxido de azufre y anhídrido sulfúrico. Estos gases al combinarse con el agua que es producida durante la combustión se transforman en ácido sulfúrico, caracterizado por sus propiedades de corrosión significativamente elevadas. Además, ya que la inflamabilidad y la combustibilidad de los compuestos de azufre son mediocres, producirán humo negro y contaminarán el aceite del motor.

(4) Volatilidad del gasóleo

El gasóleo tiene un punto de ebullición elevado y, a la temperatura de una habitación, prácticamente casi no es volátil. Sin embargo, durante el proceso de combustión en el motor diesel, el gasóleo se gasifica antes de mezclarse con el aire. La combustión tiene lugar cuando la densidad de esta mezcla está en el intervalo de la temperatura de combustión. Así entonces, es preferible que el gasóleo (gas-oil) tenga cierto grado de volatilidad.

2

SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

2. SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

2-1. SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DIESEL

El motor de gasolina emplea un carburador para producir una mezcla de aire y de gasolina que es introducida en el cilindro donde la mezcla es comprimida. Se emplea una chispa de bujía para inflamar la mezcla de combustible y aire. La presión de expansión del gas que es creado durante la combustión empuja el pistón, y de esta forma produce un trabajo útil.

Sin embargo, en el motor diesel durante el proceso de admisión de aire entra solamente aire, y el aire es altamente comprimido durante el proceso de compresión. El combustible es entonces inyectado en el aire altamente comprimido y de elevada temperatura. La mezcla se enciende mediante un encendido espontáneo, y la presión del gas que se expande rápidamente durante la combustión empuja el pistón para producir trabajo útil. Por consiguiente, el motor diesel requiere un sistema de combustible que es diferente del sistema del motor de gasolina, dicho específicamente necesita un sistema de inyección de combustible que pueda suministrar (i) la adecuada cantidad de combustible, (ii) en el instante apropiado, (iii) de una manera sistemática.

2-2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

El sistema de inyección de combustible está constituido por una bomba de inyección de combustible, inyector, un filtro de combustible, y un depósito o tanque de combustible.

El combustible que es aspirado del depósito por la bomba de combustible es filtrado al pasar a través del filtro de combustible, y enseguida es suministrado a la bomba de inyección. El combustible suministrado y que alimenta la bomba de inyección es llevado a un estado de alta presión, y por los tubos de impulsión, de acero, llega a los inyectores. Enseguida, el combustible es inyectado en forma vaporizada en la cámara de combustión en la que tiene lugar la combustión.

Parte del combustible que es suministrado al inyector lubrica la parte deslizante del inyector y, por el tubo de rebose, vuelve al depósito de combustible. Para prevenir que el combustible que llega a la bomba de inyección sea sometido a una presión excesiva, se incorpora una válvula de alivio localizada en el filtro de combustible o bien en la bomba de inyección propiamente tal. Si la presión de alimentación de la bomba de alimentación sobrepasa cierto valor especificado, la válvula de alivio o rebose se abre para que el exceso de combustible vuelva al depósito de combustible, por intermedio del tubo de rebose o retorno.

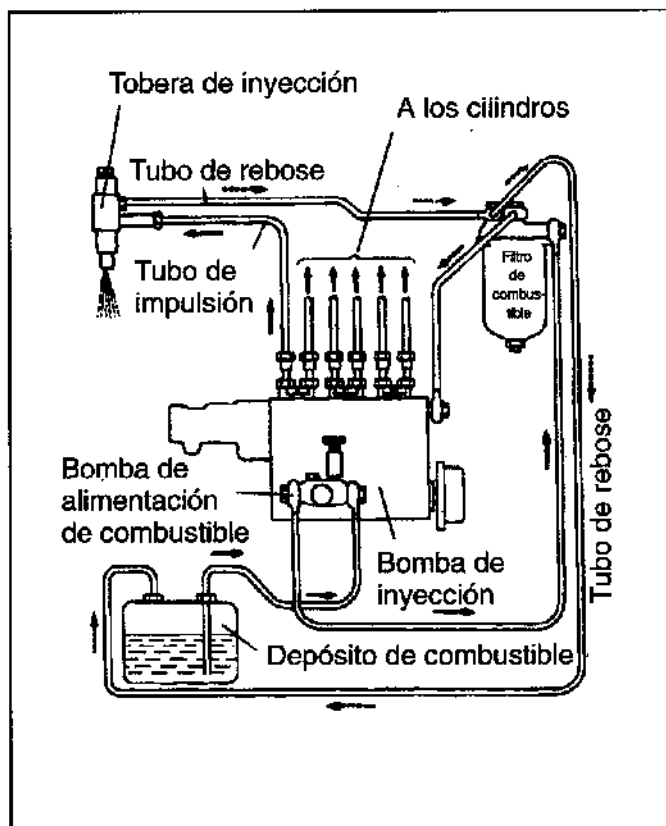


Figura 2-1 Diagrama del sistema de combustible

REFERENCIA: Aunque un volumen efectivo de inyección de 0,05 g por cilindro de un motor de 1.000 cm³ de cilindrada (1 litro) es considerado como suficiente para el funcionamiento normal, la bomba de alimentación tiene capacidad para suministrar dos o tres veces dicho volumen.

2-3. CONTROL DEL VOLUMEN DE INYECCIÓN

La figura 2-2 muestra un ejemplo de un experimento para determinar el modo de variación de la potencia producida por un motor diesel y el consumo específico cuando se modifica su volumen de inyección, manteniendo constante el régimen del motor y el calado de la inyección.

El gráfico muestra que el caudal de inyección que genera la máxima potencia de salida está en el punto @ (17,6 l/h, aproximadamente), y que la potencia útil varía en función del incremento o decremento de dicho caudal de inyección.

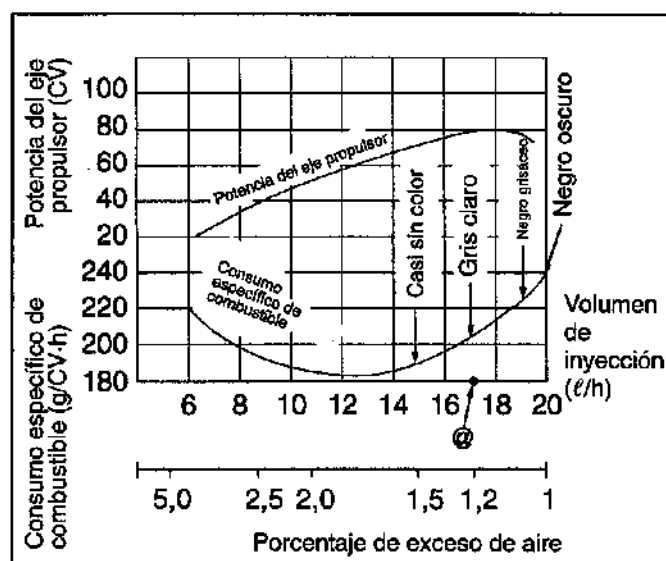


Figura 2-2 Límites de potencia del motor diesel

Considerando las diversas condiciones de funcionamiento de un motor a un régimen determinado, la potencia máxima de salida será generada cuando sea necesaria en ciertas ocasiones y habrá otras ocasiones cuando bastará con un cuarto o la mitad de la potencia útil máxima de salida.

La potencia útil del motor es controlada mediante el aumento y disminución del volumen de combustible inyectado. El volumen de inyección de combustible y la potencia útil están relacionados de acuerdo con la expresión siguiente:

$$PS = \frac{Q \times i \times N \times 60 \times r \times NE}{Be \times 10^3} \dots\dots\dots (2-1)$$

PS : Potencia útil del eje propulsor (CV)

Q : Volumen de la inyección (mm³/st, cilindro)

i : Coeficiente (motor de 4 tiempos i = 1/2)
(motor de 2 tiempos i = 1)

N : Número de cilindros del motor

r : Gravedad específica del combustible

NE : Régimen del motor (rpm)

Be : Consumo específico de combustible (g/CV · h)

En la fórmula (2-1), cuando el motor y el combustible están determinados, "i", "N" y "r" permanecerán constantes independientemente de las condiciones del motor. Si el régimen del motor es mantenido constante, la potencia útil del motor será aproximadamente proporcional al volumen de inyección. Por lo tanto, el incremento del volumen de inyección aumentará la potencia de salida, pero si el incremento sobrepasa el punto @, indicado en la figura 2-2, el motor comenzará a emitir humo negro y su potencia útil disminuirá. Esto es debido al hecho de que la cantidad de combustible aumenta en proporción con el aire y la falta de oxígeno suficiente es causa de que la combustión sea incompleta.

Por consiguiente, en cualquier circunstancia, el volumen de combustible que se inyecte debe ser tal que no cause la emisión de humo negro. Este límite es denominado "límite de humo". Las bombas de inyección están previstas para que el volumen de la inyección no exceda este límite. Incluso en el caso de un motor determinado, el límite de emisión de humo varía ya que el volumen del aire de admisión y el torbellino que es generado durante la compresión fluctúan en función del régimen del motor.

Por las razones antes expuestas, cuando hay una queja relativa a la falta de potencia del motor no hay que limitarse simplemente a aumentar el volumen de inyección para aumentar la potencia. En efecto, si se actúa de dicha manera es muy posible que sólo se consiga que el motor emita humo negro y que la potencia disminuya.

2-4. AJUSTE DEL CALADO DE LA INYECCIÓN

Incluso cuando el combustible es limpio y el volumen de inyección es apropiado, es importante que el suministro de combustible para la combustión sea hecho en un momento adecuado y tenga una duración determinada (el tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la inyección). El calado de la inyección es semejante al calado del encendido del motor de gasolina. Para obtener la mejor combustión, el calado inicial es limitado a algunos grados antes del punto muerto superior de la carrera de compresión.

La figura 2-3 muestra un ejemplo de un experimento para determinar el modo de variación del rendimiento de un motor diesel cuando se modifica su calado de inyección a la vez que el volumen de inyección del motor y el régimen del motor se mantienen constantes. En tal estado, el valor del calado de inyección que permite obtener la mayor potencia útil del eje propulsor es de 10° antes del punto muerto superior. La potencia de salida disminuye si el calado es anterior o posterior a este punto.

2-5. TIPOS DE BOMBAS DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

Las bombas de inyección de combustible para aplicaciones de motores diesel de automóviles pueden clasificarse en las dos grandes categorías siguientes.

(1) Bomba de inyección en línea

En la bomba de inyección en línea, el número de mecanismos de compresión de combustible es igual al número de cilindros del motor y la bomba funciona de acuerdo con la secuencia de inyección determinada por el cigüeñal.

(2) Bomba de inyección rotativa (Bomba VE)

Aunque esta bomba está equipada con solo un mecanismo de compresión de combustible, ella incorpora un mecanismo de distribución de combustible que distribuye el combustible comprimido a cada cilindro y de acuerdo con el orden de inyección.

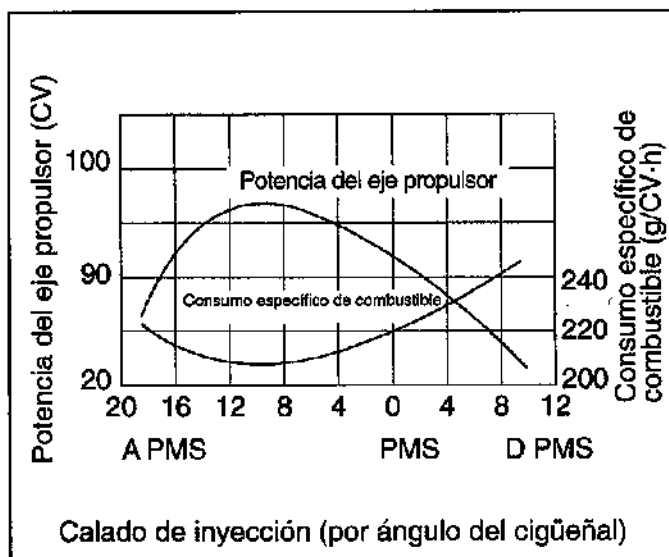


Figura 2-3 Influencia del calado de la inyección en el rendimiento del motor

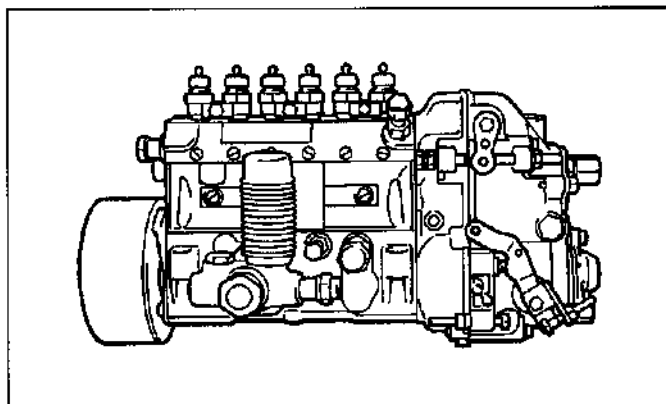


Figura 2-4 Bomba de inyección en línea

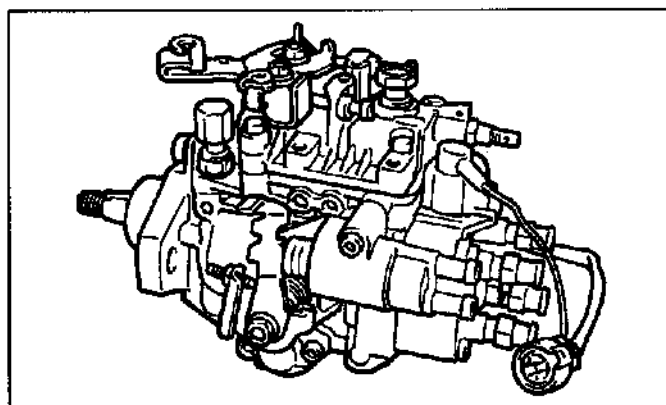


Figura 2-5 Bomba de inyección rotativa (bomba VE)

3

BOMBA DE INYECCIÓN EN LÍNEA

3. BOMBA DE INYECCIÓN EN LÍNEA

3-1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES Y DE SUS FUNCIONES

La bomba de inyección en línea está constituida por la unidad de bomba, el regulador, el variador automático de avance, la bomba de alimentación, y el acoplamiento.

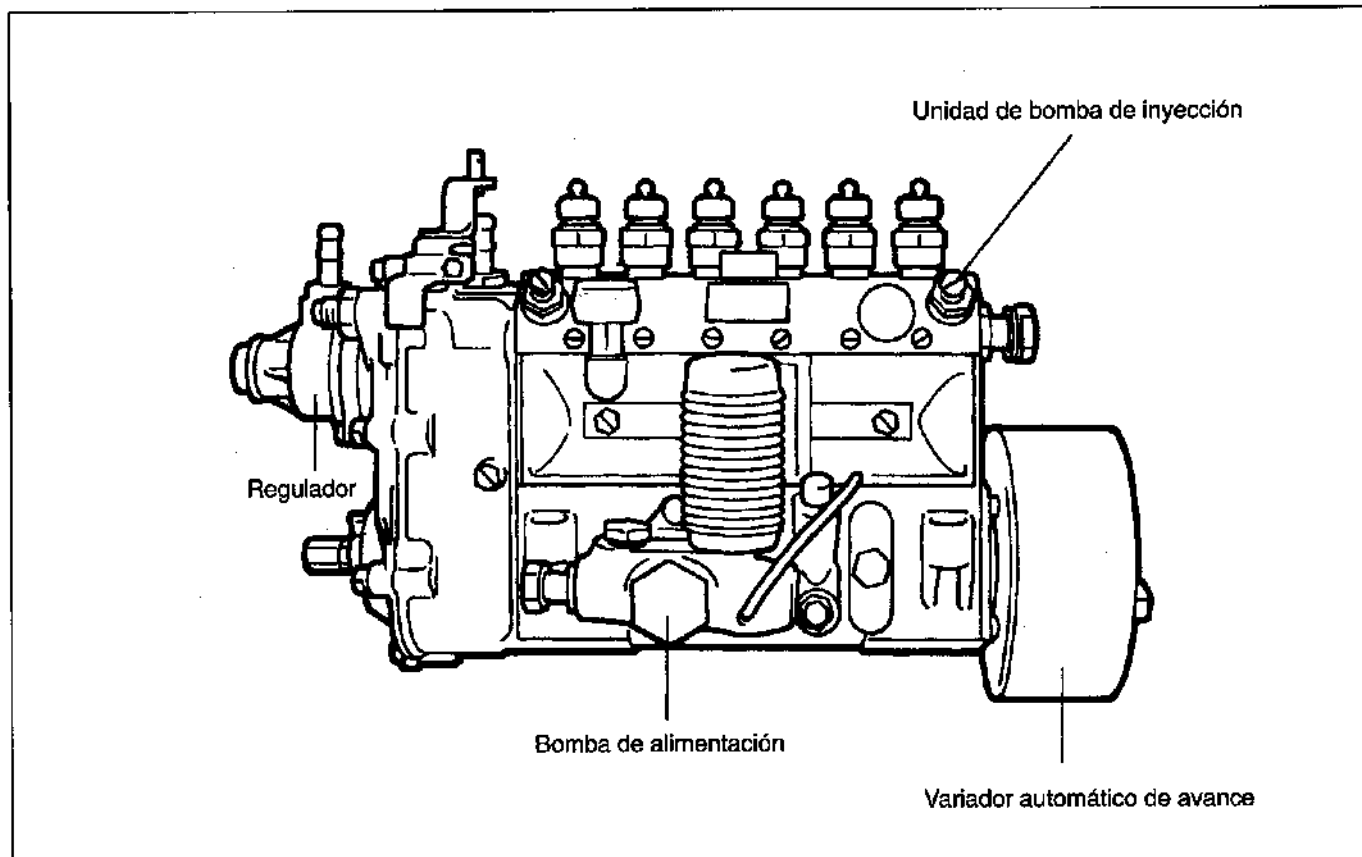


Figura 3-1 Componentes de la bomba

Unidad de bomba	Está constituida por un mecanismo de compresión y de suministro, un mecanismo de control del volumen de inyección, así como un árbol de levas para accionar estos mecanismos. La función de la unidad de bomba es suministrar combustible comprimido a cada cilindro de acuerdo con el orden de inyección.
Regulador	Unido al mecanismo de control del volumen de inyección de la unidad de bomba, el regulador tiene como función controlar automáticamente el volumen de inyección de combustible para adaptarlo a los cambios de carga del motor, variando entonces el régimen del motor según las necesidades del conductor.
Variador automático de avance	La función del variador automático de avance es controlar el calado de la inyección del combustible de acuerdo con el régimen del motor, para que el motor funcione en las mejores condiciones de combustión. El variador automático de avance está montado entre el árbol de levas de la unidad de bomba y el eje propulsor o el engranaje propulsor, desde el lado del motor.
Bomba de alimentación	La bomba de alimentación está montada en la unidad de bomba y es accionada por el árbol de levas. La función de la bomba de alimentación es suministrar combustible desde el depósito de combustible a la bomba de inyección.
Acoplamiento	Para accionar la bomba de inyección de combustible, el acoplamiento desempeña la función de conectar el árbol de levas (o variador automático de avance) de la bomba de inyección al eje del motor.

3-2. TIPOS DE BOMBAS EN LÍNEA

Hay tres tipos de bombas en línea: Tipo A, tipo NB (EP-9), y tipo P.

(1) Tipo A

De los tipos de bombas en línea, éste es el modelo más ampliamente utilizado y, por lo tanto, el más representativo de las bombas en línea.

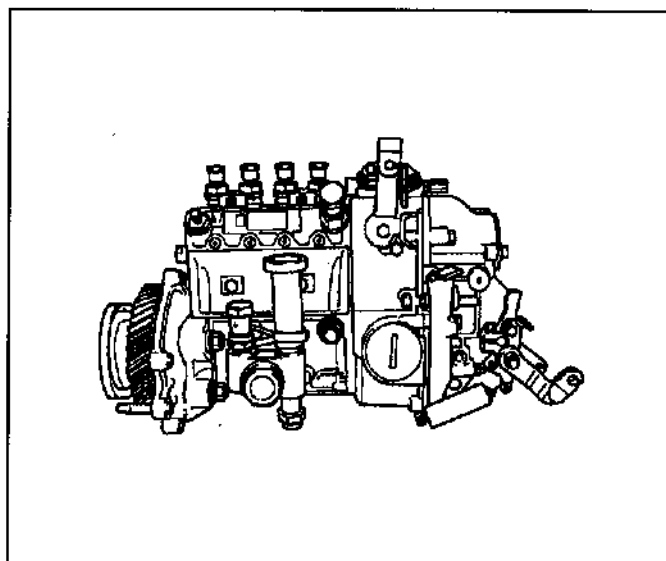


Figura 3-2 Tipo A

(2) Tipo NB (EP-9)

Para adaptar el empleo del sistema de inyección directa a los motores diesel de tamaño medio, y para cumplir con las reglamentaciones relativas a la emisión de gases de escape, las bombas de inyección deben satisfacer la necesidad de alta presión de inyección y de régimen de inyección elevada. Para satisfacer estas exigencias, Denso ha desarrollado la bomba de inyección de tipo NB, la que —a pesar de su tamaño compacto, ya que tiene el tamaño de las bombas de tipo A— ha conseguido mejorar la presión permisible y el régimen permisible de inyección.

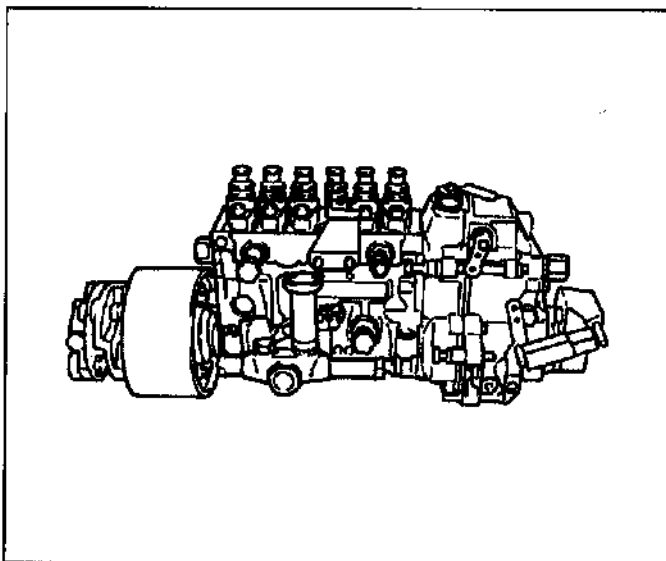


Figura 3-3 Tipo NB (EP-9)

(3) Tipo P

Los motores diesel de mayor tamaño necesitan bombas de inyección que puedan suministrar mayor cantidad de inyección y que puedan soportar cargas mayores. Las bombas de tipo P han sido diseñadas para satisfacer estas necesidades.

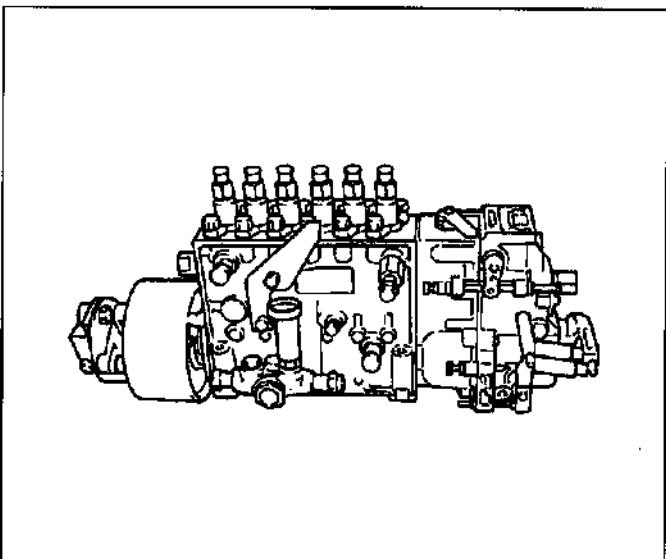


Figura 3-4 Tipo P

3-3. BOMBA TIPO A

(1) Construcción

La caja de la bomba está hecha de aluminio fundido y soporta a la vez que protege la parte interior de la bomba.

El árbol de levas está soportado por dos cojinetes de rodillos y es accionado por el motor para hacer funcionar la bomba de alimentación y los émbolos buzos.

El elemento de bomba que es la parte más importante está constituido por un émbolo buzo y cilindro, y cada cilindro del motor incorpora un elemento de bomba. La cremallera de regulación está conectada al varillaje del regulador y está engranada con cada piñón de control que hace girar el émbolo para regular la cantidad de combustible suministrada; y, cuando incorpora un émbolo especial, también puede controlar el calado de la inyección.

La válvula de entrega por reaspiración impide el retorno del combustible en el tubo de alta presión o tubo de impulsión y además impide el eventual goteo desde el inyector después de la inyección.

(2) Mecanismo de suministro de combustible

a. Construcción del elemento de bomba

El elemento de bomba está constituido por un cilindro y un émbolo. El émbolo está previsto para deslizarse dentro del cilindro. Gracias al mecanizado de alta precisión, el juego que hay entre estos dos componentes es extremadamente pequeño para así poder garantizar la máxima estanqueidad incluso en condiciones de alta presión de inyección y de bajo régimen. Sin embargo, debido al hecho de que el émbolo necesita combustible para su lubricación, es inevitable que haya una pequeña cantidad de fuga de combustible. Por esta razón, cuando se proceda al reemplazo, el émbolo y el cilindro deben ser reemplazados como un conjunto único, y no como piezas individuales.

En el émbolo hay una ranura helicoidal y un conducto vertical por donde fluye el combustible.

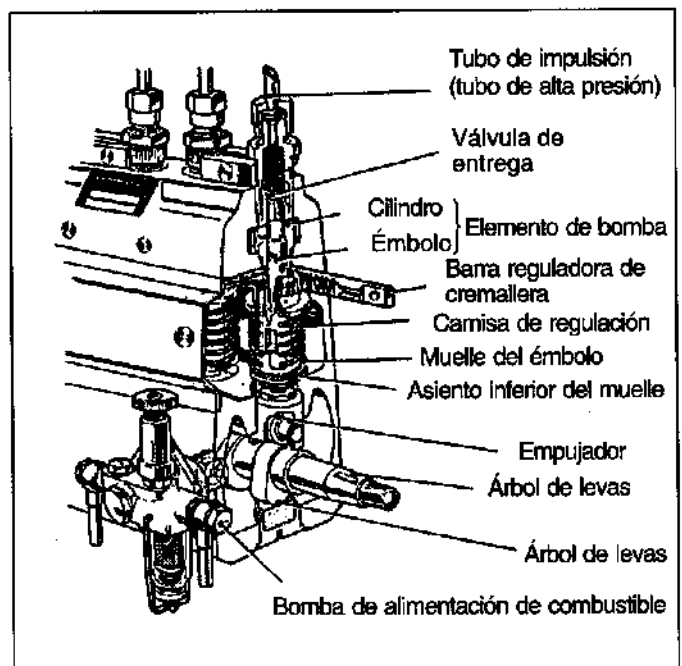


Figura 3-5 Construcción

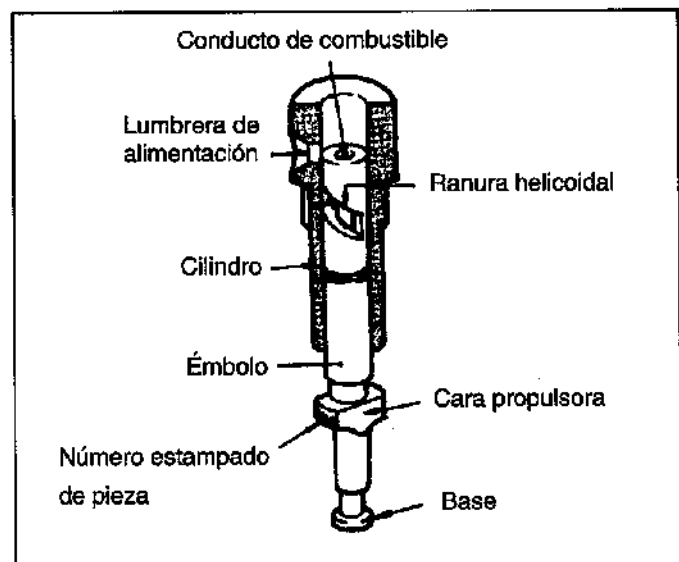


Figura 3-6 Construcción del elemento de bomba

El cilindro del elemento de bomba está instalado dentro de la caja de la bomba de manera que en la ranura especialmente prevista en la parte exterior del cilindro se encaje adecuadamente el pasador estriado de golpeteo del cilindro, que se inserta en la caja de la bomba. Éste sirve para las funciones de posicionamiento y detención de rotación.

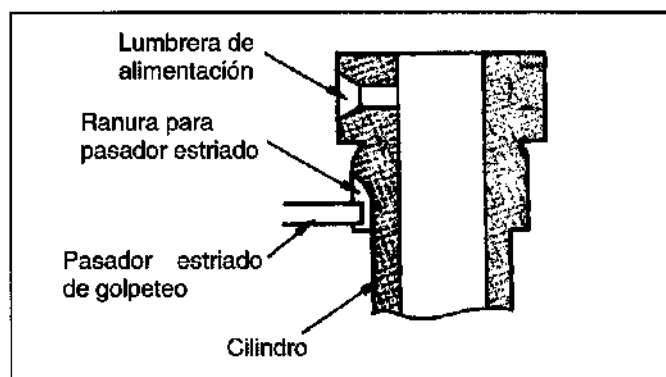


Figura 3-7 Detención del movimiento de rotación del cilindro

b. Operación de suministro de combustible

El combustible enviado por la bomba de alimentación al cuerpo de la bomba de inyección es descargado a presión del elemento de bomba, de acuerdo con el movimiento del árbol de levas (es decir, el movimiento alternado del émbolo) de la manera siguiente:

- 1) En el punto muerto inferior del émbolo, el combustible de la cámara de aspiración entra en el cilindro por la lumbrera de admisión de combustible.
- 2) A medida de que el árbol de levas gira, el émbolo sube. Cuando la parte superior del émbolo llega al borde superior de la lumbrera de entrada o admisión, tapa la lumbrera, y comienza la compresión del combustible.
- 3) A medida de que el émbolo sigue subiendo, el combustible comprimido en el cilindro empuja hacia arriba la válvula de entrega por reaspiración y fluye por el tubo de impulsión o tubo de presión hacia el inyector.
- 4) Cuando el borde superior de la ranura helicoidal llega al borde inferior de la lumbrera de entrada, el bombeo de combustible termina.
- 5) A medida de que el émbolo continúa su desplazamiento hacia arriba, el combustible que queda en el cilindro es devuelto por medio del orificio de compensación situado en la parte superior del émbolo y fluye por la ranura helicoidal y pasa por la lumbrera de retorno hacia la cámara de combustible.

La carrera útil del émbolo, es decir la inyección, comienza cuando comienza el bombeo del émbolo y termina cuando termina el bombeo del émbolo. En la ilustración inferior, esta carrera corresponde a la carrera del émbolo efectuada desde la figura 2) a la figura 4).

La carrera del émbolo efectuada desde su punto muerto inferior hasta que cierra la lumbrera de alimentación o de entrada, se denomina la pre-carrera del émbolo (desde la figura 1) a la figura 2)).

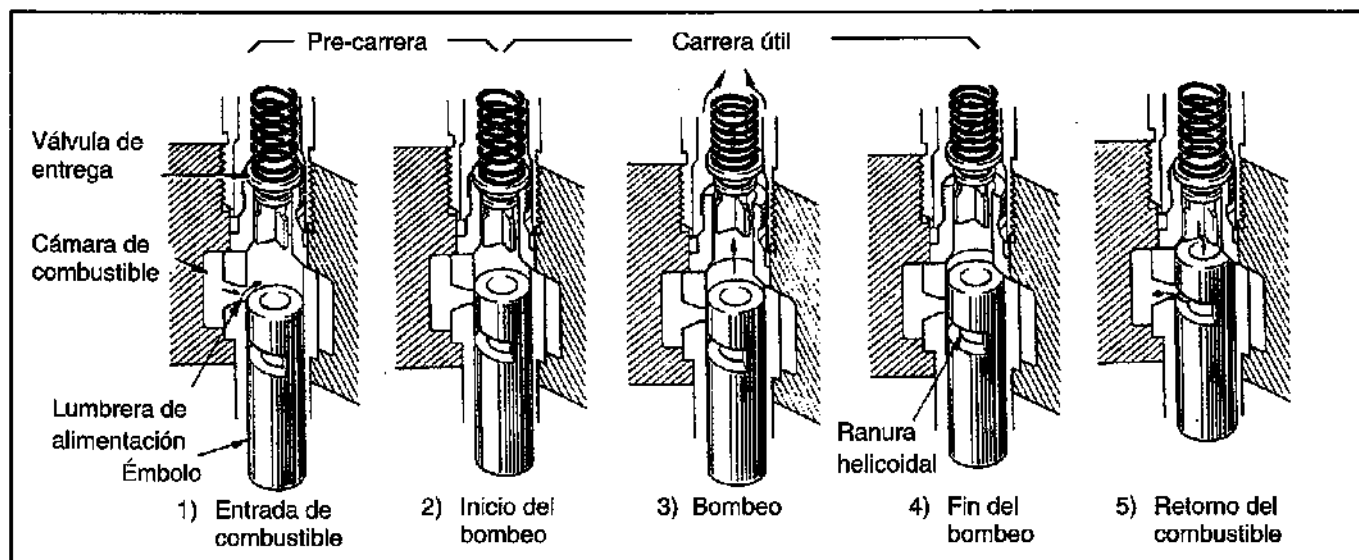


Figura 3-8 Proceso de suministro de combustible

(3) Mecanismo de regulación del volumen de inyección

a. Construcción del mecanismo de regulación

El talón del émbolo encaja en la escotadura vertical –por donde se desliza– de la camisa de regulación. Los dientes del piñón o rueda dentada, situado en la parte superior de la camisa, engranan en la cremallera de la varilla o barra de regulación. Y de este modo, cuando la barra reguladora de cremallera se desplaza longitudinalmente, ésta hace girar la rueda dentada que arrastra en su giro la camisa de regulación y también hace girar el émbolo al transmitirle su movimiento giratorio –mediante el talón del émbolo– encajado en la escotadura vertical.

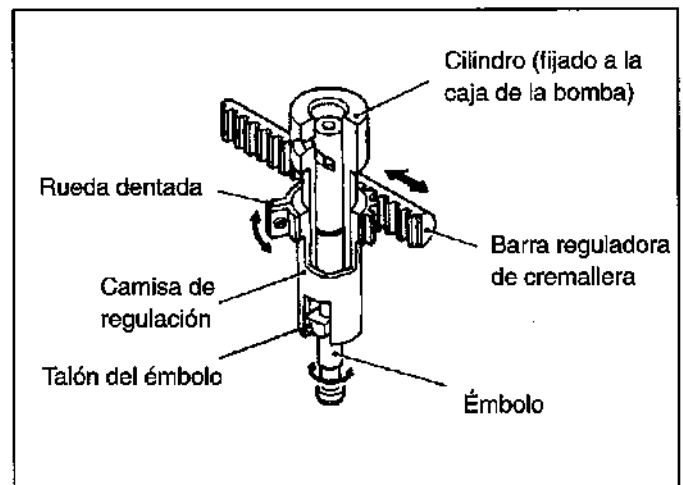


Figura 3-9 Mecanismo de regulación del volumen de inyección

b. Control del suministro de combustible

Después de que el combustible fluye desde la cámara de combustible, o aspiración, a la cámara del émbolo, el elemento de bomba bombea el combustible al inyector. Sin embargo, el volumen de combustible que es inyectado debe ser suministrado en función de la carga del motor. El volumen de inyección es ajustado por la duración variable del tiempo que transcurre entre el principio y el fin del proceso de suministro de combustible. Esta regulación es efectuada permitiendo que la barra reguladora de cremallera haga girar el émbolo, para de este modo hacer variar la posición de la ranura helicoidal (carrera útil del émbolo) y, consecuentemente, también hacer variar el volumen de combustible.

Además, debido al hecho de que la barra reguladora de cremallera hace que, simultánea e idénticamente, todos los émbolos efectúen la misma cantidad de giro, el volumen de la inyección a todos los cilindros puede hacerse variar simultáneamente. Como lo indican los estados del émbolo durante su giro –mostrados en la figura 3-11– mientras más larga es la carrera útil o efectiva mayor es el volumen de combustible inyectado.

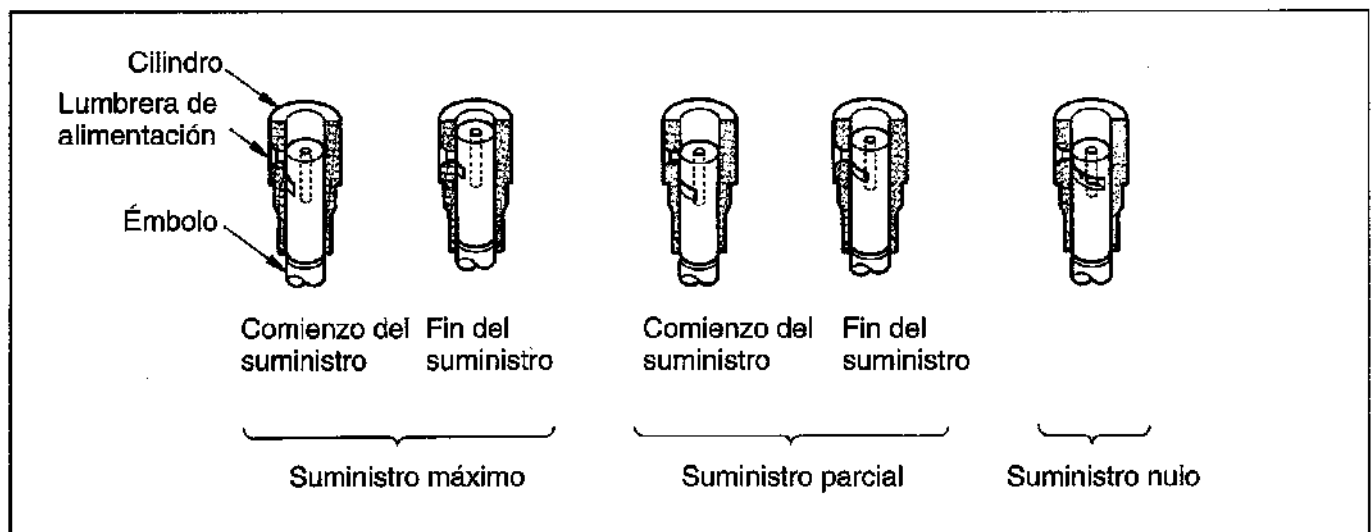


Figura 3-10 Control del suministro de combustible

REFERENCIA: La carrera útil del émbolo, es decir la inyección útil, comienza cuando el bombeo del émbolo comienza y llega hasta cuando el émbolo deja de bombear. Este trayecto recorrido se denomina "carrera útil".

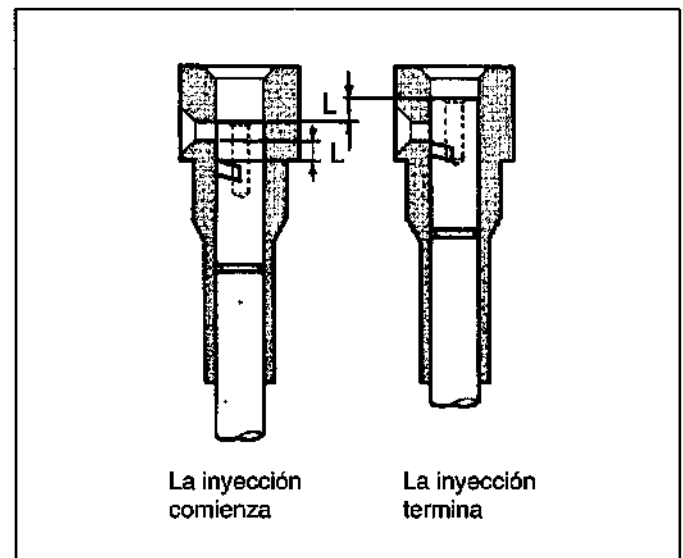


Figura 3-11 Carrera útil del émbolo

(4) Tipos de émbolo

Los émbolos pueden ser clasificados según la forma, la posición y dirección de la ranura helicoidal o hélice.

a. Forma de la hélice o ranura helicoidal

Los tipos de émbolos que pertenecen a esta categoría de clasificación son: Émbolo de ranura helicoidal recta, en el cual el corte de la ranura es recto, como lo muestra la figura 3-12 (1). Émbolo de ranura helicoidal curva, en el cual el corte de la hélice es curvo, como lo muestra la figura 3-12 (2). El combustible en la ranura helicoidal puede fluir en la cámara del émbolo a través de un conducto vertical.

Cuando la ranura helicoidal o hélice es desarrollada sobre un plano a lo largo de la circunferencia del émbolo, la ranura helicoidal recta muestra una traza curva mientras que la traza dejada por la ranura helicoidal curva es una línea recta. Las relaciones entre la posición de la barra reguladora de cremallera y el volumen de la inyección son mostradas en la figura 3-13.

El émbolo de ranura helicoidal recta muestra un característico gráfico curvado del volumen de inyección, como es ilustrado en la figura 3-13 (1). Consecuentemente, según lo muestra dicho gráfico, en la posición de la barra reguladora durante la marcha lenta o ralenti (cuando el volumen de inyección es pequeño), el incremento de volumen de inyección es mantenido bajo en respuesta a cualquier cambio de la posición de la cremallera de la barra reguladora. El resultado es que cuando el motor funciona en régimen de ralenti—también denominado marcha lenta o en vacío— las fluctuaciones del volumen de inyección son mínimas.

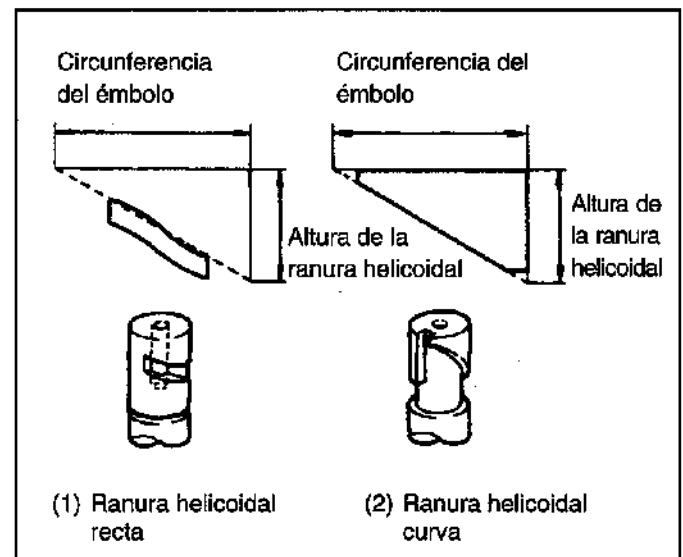


Figura 3-12 Forma exterior del émbolo y desarrollo en un plano

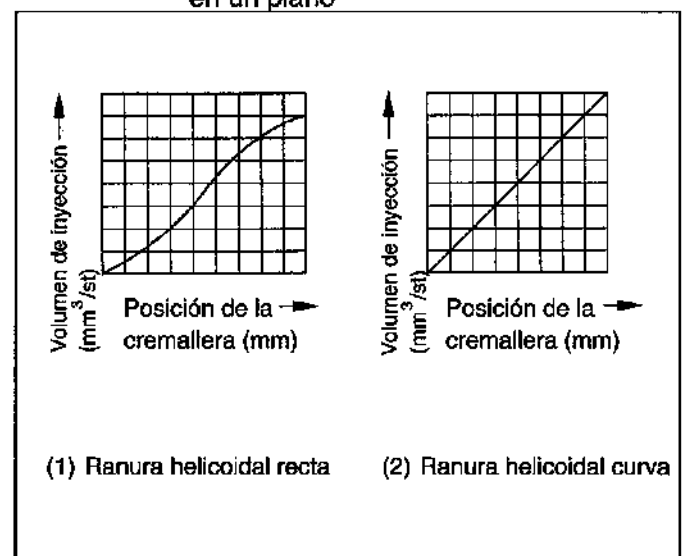


Figura 3-13 Posición de la cremallera y volumen de inyección

Por otra parte, debido a que el gráfico correspondiente al émbolo de ranura helicoidal curva tiene la característica forma de línea recta, el volumen de inyección permanece constante, independientemente de la posición de la cremallera de la barra reguladora.

b. Posición de la ranura helicoidal

La figura 3-14 muestra los tipos de émbolo clasificados de acuerdo con la posición de la ranura helicoidal: Émbolo con ranura helicoidal a la derecha; y émbolo con ranura helicoidal a la izquierda.

El émbolo con ranura helicoidal a la derecha incrementa el volumen de su inyección cuando gira en el sentido de las agujas del reloj. El émbolo con ranura helicoidal a la izquierda incrementa el volumen de su inyección cuando gira en el sentido contrario al de las agujas del reloj.

c. Tipos de ranura de regulación de volumen

La figura 3-15 muestra los tres tipos de émbolos clasificados de acuerdo con el tipo de ranura de regulación de volumen. En el caso del émbolo que tiene una ranura helicoidal normal, como el mostrado en la figura 3-15 (1), el volumen de la inyección es modificado por la ranura helicoidal al final del suministro de combustible. Cuando el émbolo tiene una muesca superior de regulación de volumen (también llamada de arranque), como mostrado en la figura 3-15 (2), la muesca o ranura superior cambia el volumen de la inyección al principio del suministro de combustible. En el caso del émbolo con ranura helicoidal y muesca superior de control (dicha de arranque), mostrado en la figura 3-15 (3), el volumen de inyección cambia al principio y al fin del suministro de combustible.

(5) Cambios del volumen de inyección

Cuando el régimen de giro de la bomba es constante, el volumen de inyección de una bomba convencional —en relación al diámetro del émbolo— varía linealmente y de acuerdo con la posición de la cremallera de regulación.

Sin embargo, si el régimen de la bomba aumenta, el volumen de inyección variará entonces en la forma mostrada en la figura 3-17, a condición de que la cremallera de la barra reguladora permanezca fija en una posición determinada. Consiguientemente, el volumen de inyección por embolada aumentará gradual y proporcionalmente al incremento de régimen de giro de la bomba de inyección. Generalmente, el volumen de inyección es afectado por un aumento del régimen de giro de la bomba debido a factores que serán presentados en la sección siguiente.

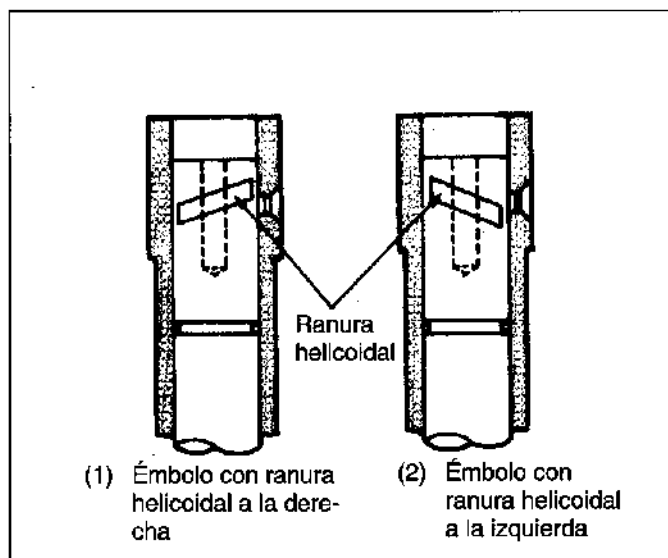


Figura 3-14 Tipos de émbolo según el sentido del giro

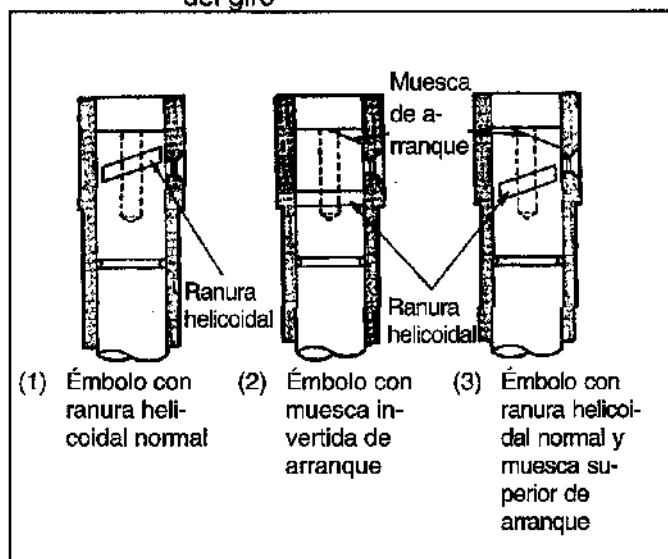


Figura 3-15 Tipos de ranura de regulación de volumen

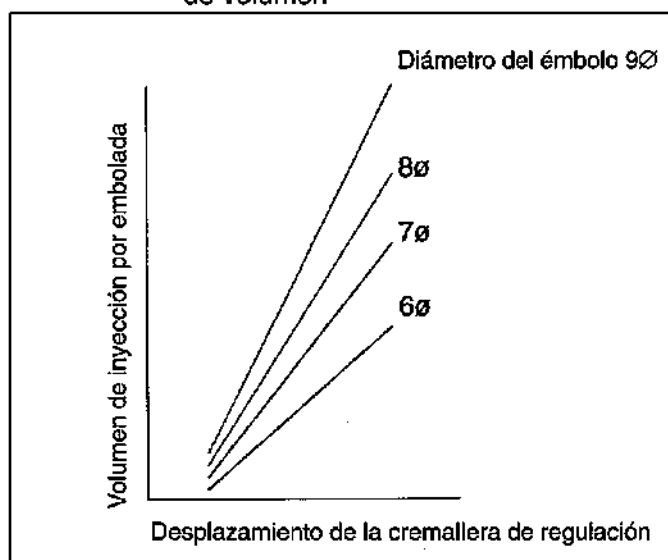


Figura 3-16 Diámetro del émbolo y volumen de inyección

a. Volumen de fugas

El volumen de fugas es la suma de todo el combustible que se escapa durante la lubricación de émbolos e inyectores, y del combustible que se escapa por otras áreas. A medida de que la velocidad de giro de la bomba aumenta, el tiempo necesario para una revolución disminuye y el resultado es que el volumen de fugas disminuye a la vez que aumenta el volumen de la inyección.

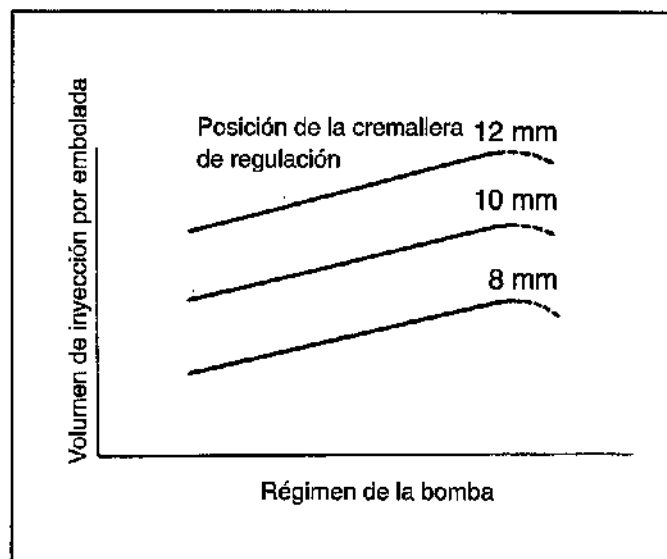


Figura 3-17 Régimen de la bomba y volumen de la inyección

b. Volumen de pre-inyección

El volumen de la pre-inyección es el volumen que es inyectado antes de que la lumbrera de alimentación del cilindro sea tapada por el borde superior del émbolo. Cuando aumenta la velocidad de giro de la bomba, aumenta el volumen de combustible que es empujado por el émbolo. Consiguientemente, todo el combustible que está en la cámara —por encima del émbolo— se desplaza con más fuerza hacia la válvula de entrega o suministro, y está menos propenso a ser devuelto hacia la cámara de combustible por la lumbrera de descarga. En este momento, la lumbrera de alimentación o suministro se hace más estrecha sin llegar a cerrarse completamente. Consecuentemente, la presión aumenta y la válvula de entrega o suministro es empujada hacia arriba antes de que la lumbrera de alimentación sea cerrada completamente para comenzar la compresión del combustible, y el resultado es el aumento del volumen de inyección de combustible.

c. Volumen de post-inyección

Por lo que respecta al fin de la inyección, y contrariamente a lo que sucede en la pre-inyección descrita en “②”, la inyección no terminará hasta que el área de la abertura presentada por la lumbrera alcance cierta dimensión (en efecto, el émbolo sigue su movimiento ascendente incluso después de que la ranura helicoidal está alineada con la lumbrera de alimentación) y esto es debido a la inercia del combustible y al estrechamiento de la lumbrera de alimentación. Consecuentemente, el volumen de inyección aumenta.

De este modo entonces, a medida de que la velocidad de giro de la bomba aumenta, la inercia del combustible aumenta también causando el aumento del volumen de pre-inyección y de post-inyección. Y entonces, el resultado es el aumento del volumen de inyección de combustible.

La razón por la que el volumen de inyección disminuye a regímenes elevados, después de alcanzar cierto límite superior, es explicada a continuación.

d. Volumen vacío

La bomba de alimentación suministra combustible a la cámara del émbolo, por intermedio de la lumbrera de alimentación. Cuando el régimen de giro de la bomba aumenta, el émbolo se desplaza hacia abajo y esto acorta la duración de apertura de la lumbrera de alimentación. Así entonces, debido a que no hay suficiente combustible para que la inyección siguiente llene la cámara del émbolo, el volumen de inyección disminuye.

La tendencia de la bomba de inyección a trabajar de esta manera puede oponerse a las características del volumen de inyección requerido por el motor. Por consiguiente, en el regulador se ha incorporado un dispositivo que puede corregir el rendimiento de la bomba de inyección para así adaptarlo al volumen de inyección requerido. El dispositivo en cuestión será presentado más adelante en este manual.

(6) Válvula de impulsión por reaspiración

La válvula de impulsión (también denominada: de presión, suministro, distribución, entrega) está constituida por una válvula y un asiento de válvula. La válvula se desliza verticalmente en el portaválvula y efectúa las dos funciones descritas a continuación.

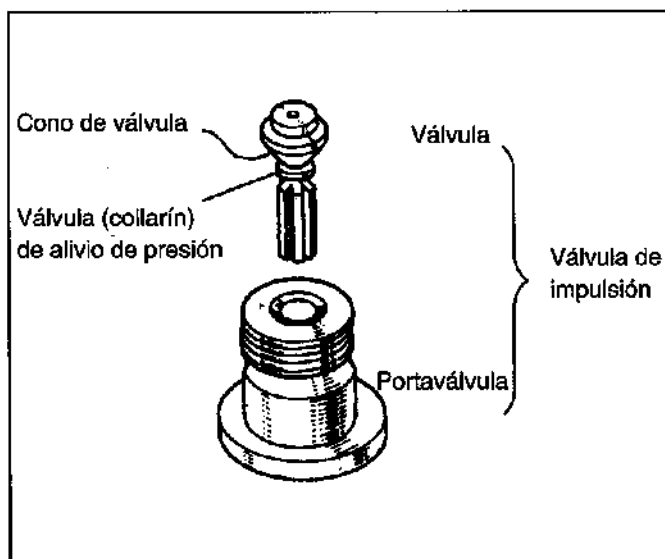


Figura 3-18 Válvula de impulsión por reaspiración

a. Función de prevención de retorno de flujo de combustible

Si la cámara del émbolo y el inyector están constantemente abiertos, hay aumento del tiempo de espera que transcurre entre el momento cuando el elemento de bomba comienza a suministrar combustible y el momento cuando la tobera del inyector comienza la inyección de combustible, y, además, afecta el inyector en la medida de que corta la inyección de combustible cuando el suministro de combustible termina. Por consiguiente, cuando la fase de suministro de combustible ha terminado, el muelle (resorte) de la válvula de impulsión empuja la válvula hacia abajo y hace que el collarín —que constituye la válvula de alivio de la presión— entre en contacto con el taladro de guía del portaválvula. El resultado es el cierre del tubo de impulsión por el lado del émbolo de la unidad de bomba.

b. Función de reaspiración de combustible

La válvula continúa descendiendo hasta que se cierra, por contacto del cono de válvula con su asiento cónico en el portaválvula. El volumen del tubo de impulsión aumenta en proporción al movimiento descendente del émbolo. Y al haber más volumen disponible hay disminución de la presión en el tubo de impulsión y esta disminución de presión, que causa la reaspiración o retracción del combustible, es la que impide que del inyector gotee combustible al finalizar la inyección.

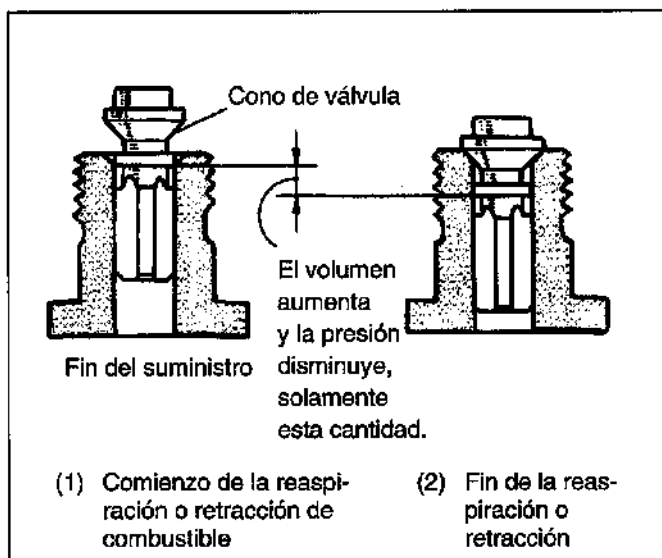


Figura 3-19 Funciones de la válvula de impulsión por reaspiración

El volumen de reaspiración, retracción, de combustible creado en la válvula de impulsión puede ser modificado, como lo muestra la figura 3-20.

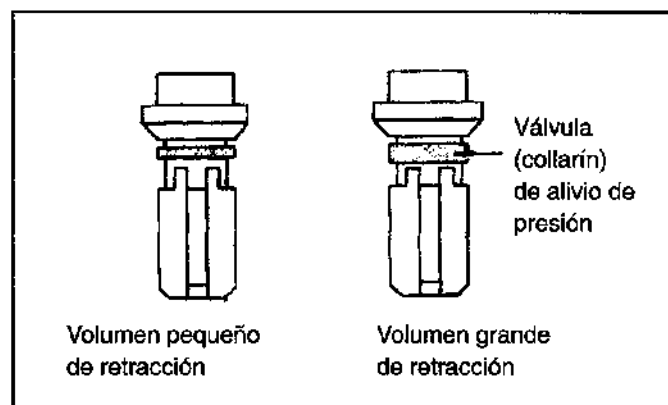


Figura 3-20 Aumento del volumen de retracción en la válvula de impulsión

(7) Caja de la bomba de inyección

Para permitir el montaje de las piezas en sus localizaciones apropiadas y para operar correctamente, se han previsto varios orificios en la caja de la bomba. Estos orificios incluyen los orificios para el aceite, los orificios para insertar los empujadores, el elemento de bomba, y la barra reguladora de cremallera.

El tornillo adaptador, el pasador estriado para detectar el golpeteo del cilindro, el espárrago de fijación de la bomba de alimentación, y el tornillo de purga de aire están incorporados en la caja de la bomba tipo A.

El pasador estriado tiene como función posicionar el cilindro. El tornillo adaptador está previsto para evitar que la caja de aluminio fundido de la bomba de inyección sea desgastada por las ondas de choque creadas por el reflujo de combustible desde la lumbrera de alimentación o entrada y hacia la cámara de combustible, cuando ha terminado la inyección de combustible. El tornillo adaptador está tratado térmicamente para resistir al desgaste.

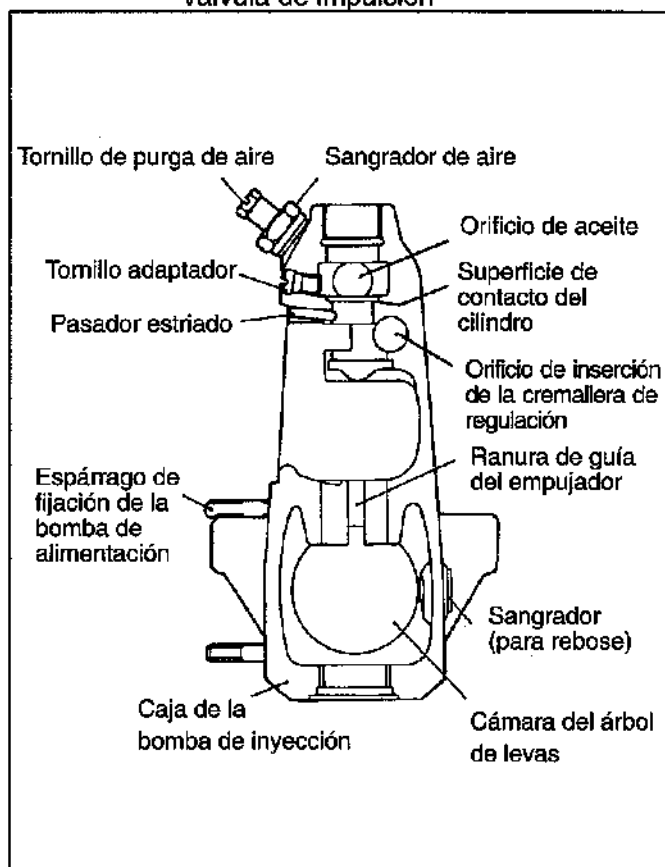


Figura 3-21 Caja de la bomba de inyección

(8) Eje de levas

- a. Las levas del árbol de levas mueven los émbolos verticalmente de acuerdo con el orden de inyección, y, además, una leva específica propulsa la bomba de alimentación de combustible. El árbol de levas es propulsado por el eje propulsor del motor o por un engranaje o piñón propulsor.

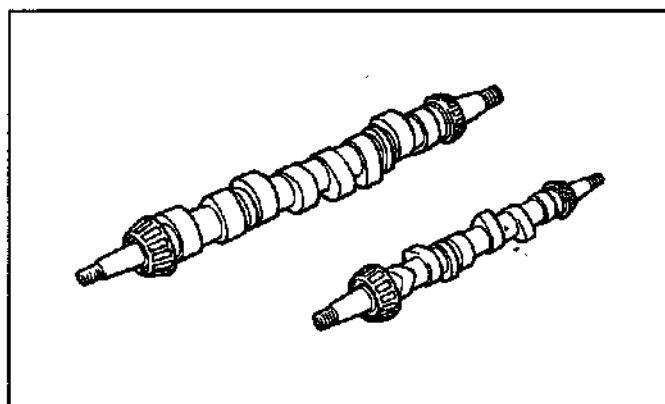


Figura 3-22 Árbol de levas

- b. La leva puede tener tres formas fundamentales: Una leva excéntrica (Figura 3-23 (1)) es utilizada, generalmente, para accionar la bomba de alimentación. Las levas de doble tangente (Figura 3-23 (2)) o las levas de arco tangente (Figura 3-23 (3)) son utilizadas para accionar los émbolos. La figura 3-23 (4) muestra una leva de retención que impide que el árbol de levas invierta el sentido de giro.

En la leva excéntrica las partes de ascenso y de descenso son simétricas lo que permite el movimiento vertical regular.

La leva de doble tangente –como la leva excéntrica– también es simétrica. Debido a que la leva de doble tangente puede efectuar movimientos verticales rápidos ella puede suministrar muy rápidamente el combustible a la cámara del émbolo.

Para acelerar la velocidad del émbolo aún más rápidamente que la leva de arco, la leva de arco tangente tiene una forma de tangente en la porción elevadora. Para reducir lo más posible la fluctuación del par de rotación aplicado al eje de levas, la parte de descenso de la leva de arco tangente toma una forma suavemente descendente y de este modo adquiere una forma asimétrica.

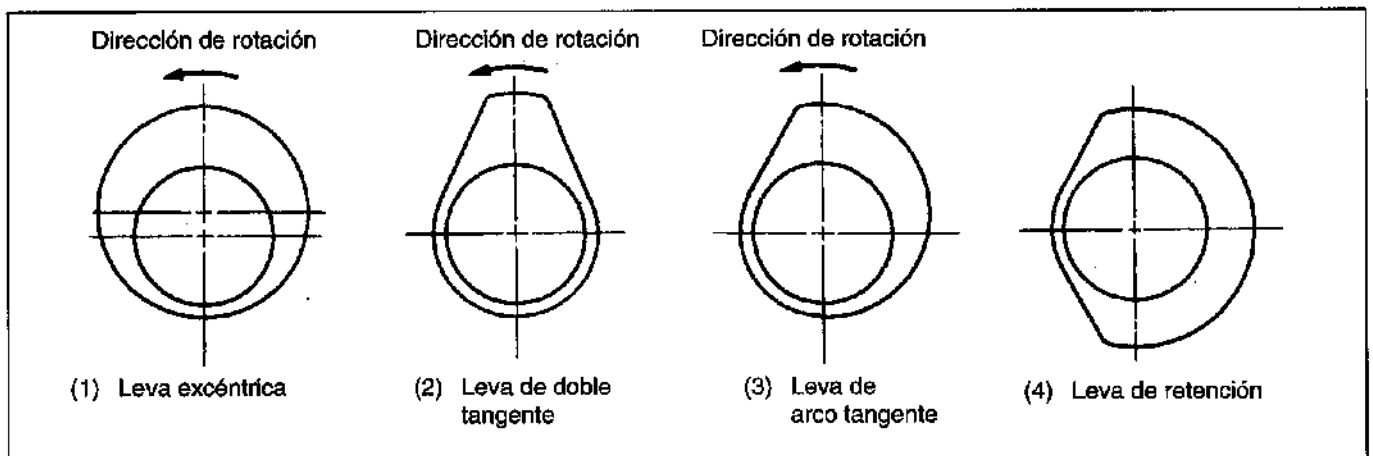


Figura 3-23 Formas fundamentales de leva

- c. La figura 3-24 muestra una curva característica de una leva tangente.

Generalmente son empleados empujadores con rodillo que pueden soportar cargas elevadas. El segmento de desaceleración donde el R3 y el rodillo entran en contacto es la parte donde el esfuerzo de contacto entre la leva y el rodillo es mayor, en lo que se refiere a la carga del empujador. Así entonces, el valor máximo de la presión de descarga de combustible no es permitido en este segmento de desaceleración.

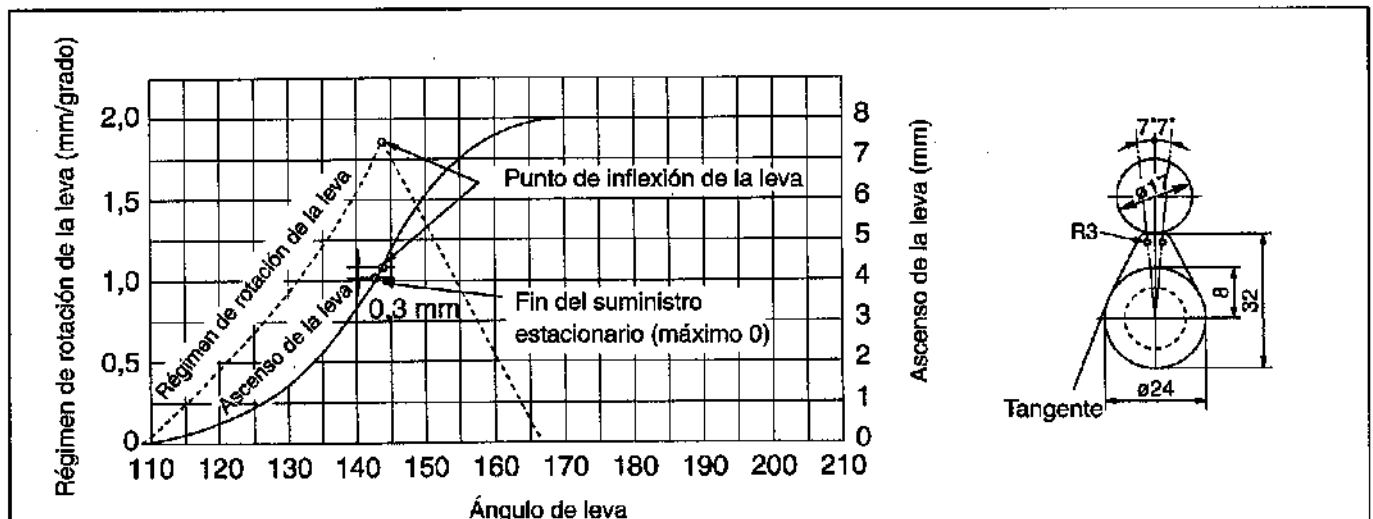


Figura 3-24 Características representativas de una leva tangente (ejemplo para una leva tipo A)

(9) Cojinetes de rodillos cónicos

Los cojinetes de rodillos cónicos se caracterizan por su gran capacidad de carga y porque pueden soportar una carga radial (carga que es aplicada perpendicularmente al eje) y una carga de empuje (carga aplicada en la dirección axial). Debido a que las jaulas interior y exterior del cojinete de rodillos cónicos están separadas, pueden ser montadas separadamente. Entonces, el juego que sea necesario puede ser obtenido ajustando la distancia entre las dos jaulas del cojinete.

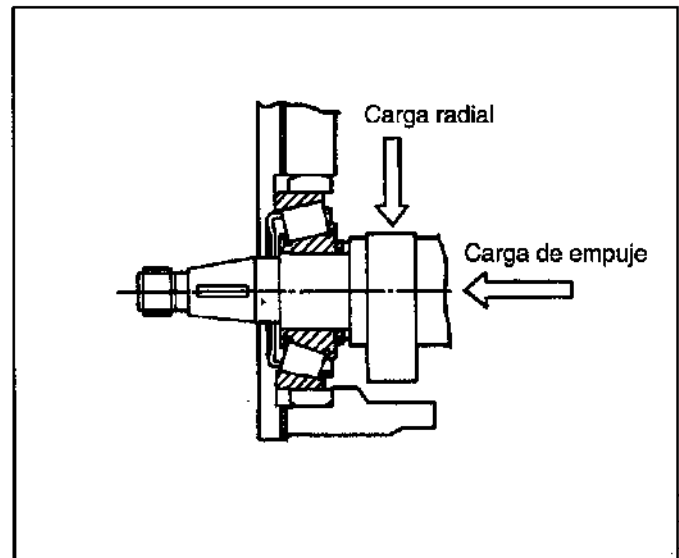


Figura 3-25 Cojinetes de rodillos cónicos

(10) Cojinete central

Para prevenir que el árbol de levas se alabee y deforme, las bombas de inyección en línea para 6 o más cilindros, que utilizan émbolos de gran diámetro y funcionan a regímenes elevados, están equipadas con un cojinete central. Por esta razón, la porción del árbol de levas que está hacia el cojinete es pulida.

El cojinete central, que está hecho de cobre o bien de una aleación sinterizada a base de acero, es un cojinete plano que desempeña su función mediante su superficie deslizante. El cojinete central está fijado a la caja de la bomba mediante los tornillos de fijación.

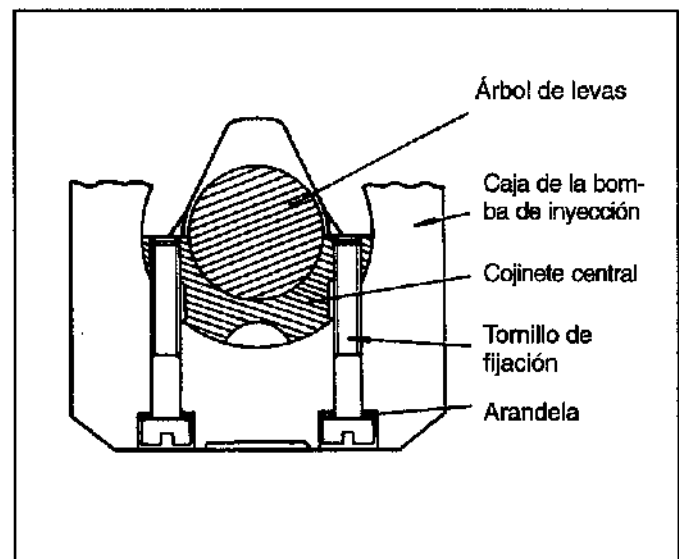


Figura 3-26 Cojinete central

(11) Juego del empuje del árbol de levas (Juego axial)

El juego del empuje es determinado cuando el árbol de levas está instalado en su emplazamiento y tiene un efecto considerable en la vida útil del cojinete. La vida útil del cojinete es acortada si el juego del empuje es demasiado pequeño o demasiado grande. El gráfico de la figura 3-27 muestra la vida de los cojinetes de rodillos cónicos. Los cojinetes tienen una vida útil más prolongada si están más bien apretados, con un juego mínimo. El gráfico muestra el juego del árbol de levas después del empleo, y no antes de ser empleado. La vida de los cojinetes considerados aquí corresponde a cojinetes en favorables condiciones de lubricación. Según sean las condiciones de utilización efectiva tales como la temperatura de la bomba y la naturaleza del aceite de lubricación, la vida útil del cojinete es normalmente diferente en el caso de una aplicación real.

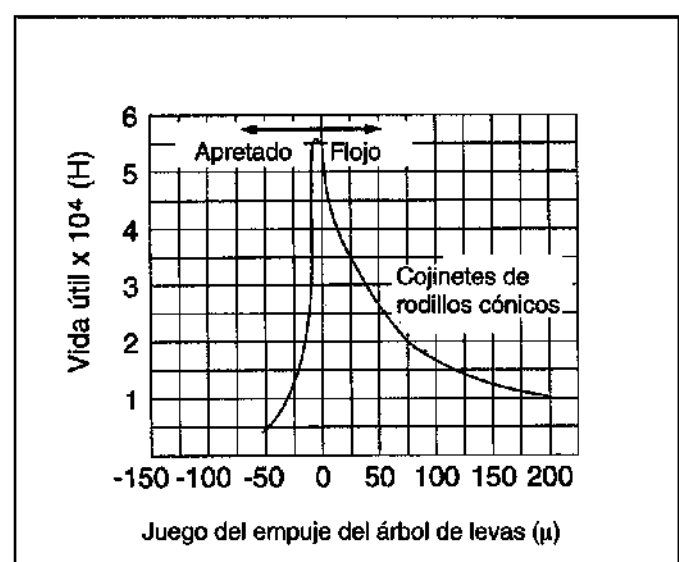


Figura 3-27 Juego del empuje y vida útil del cojinete

(12) Empujador

El empujador entra en contacto con la leva por intermedio de un rodillo que está montado en el empujador mediante un pasador de rodillo. La parte superior del empujador incorpora un mecanismo para ajustar el intervalo de inyección entre cada cilindro. Se utilizan dos tipos de mecanismo de ajuste : el tipo de ajuste mediante perno; y el mecanismo de ajuste mediante calce de ajuste. El mecanismo de ajuste mediante calce de ajuste es utilizado principalmente en el caso de los motores de régimen elevado.

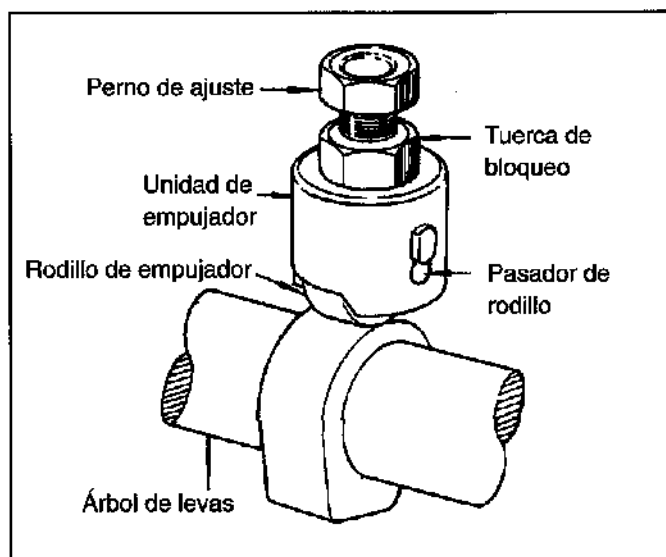


Figura 3-28 Empujador

(13) Camisa de regulación y piñón de regulación

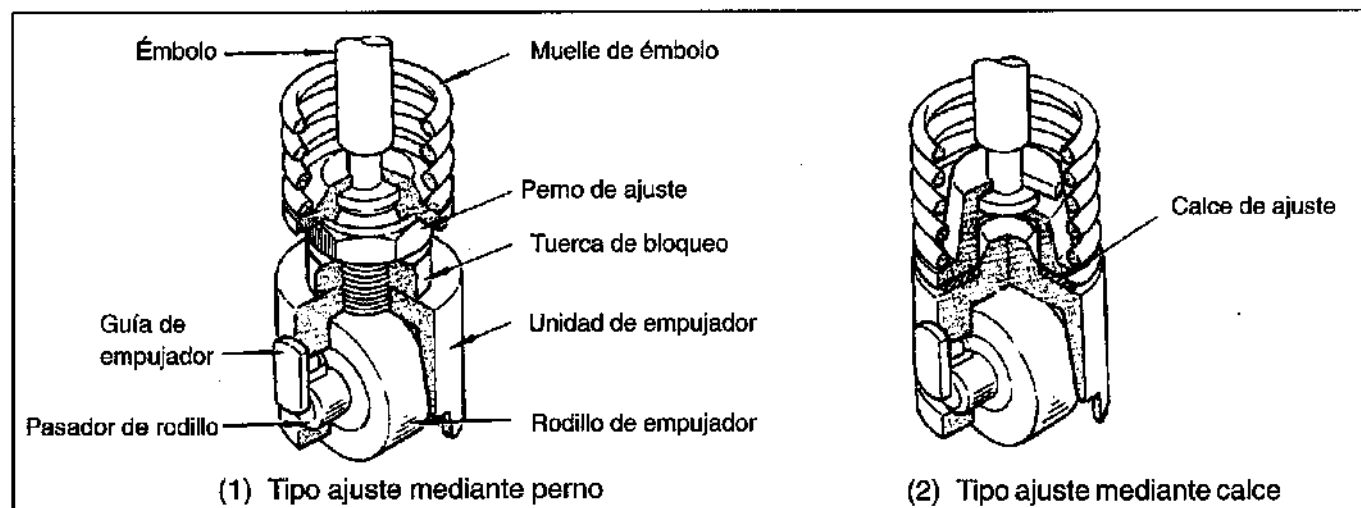


Figura 3-29 Tipos de empujadores

a. Camisa de regulación

La camisa de regulación está colocada en el cilindro y a ella está fijado el piñón de regulación. La camisa puede girar libremente en el cilindro.

El talón o tetón del émbolo encaja en la escotadura vertical situada en la parte inferior de la camisa de regulación. Consecuentemente, el émbolo accionado por la rotación del eje de levas se mueve verticalmente a lo largo de la escotadura de la camisa.

El giro del piñón o rueda de regulación causa la rotación de la camisa de regulación la que, a su vez, causa la rotación del émbolo dentro del cilindro.

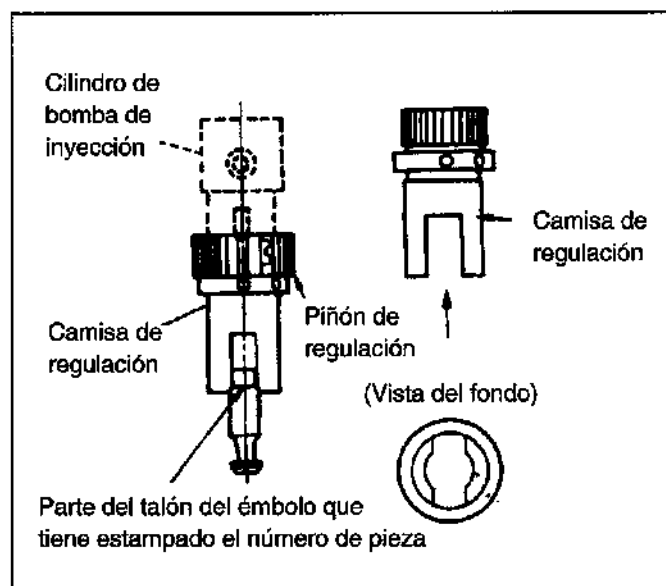


Figura 3-30 Camisa de regulación y piñón de regulación

b. Piñón de regulación

El piñón de regulación está fijado a la parte superior de la camisa de regulación mediante un tornillo de abrazadera. El piñón gira libremente en el cilindro.

Debido a que el piñón de regulación está engranado con la cremallera de la barra reguladora, el piñón de regulación convierte el movimiento lineal de la cremallera en el movimiento de rotación de la camisa de regulación. A su vez, este movimiento de rotación es transmitido al émbolo.

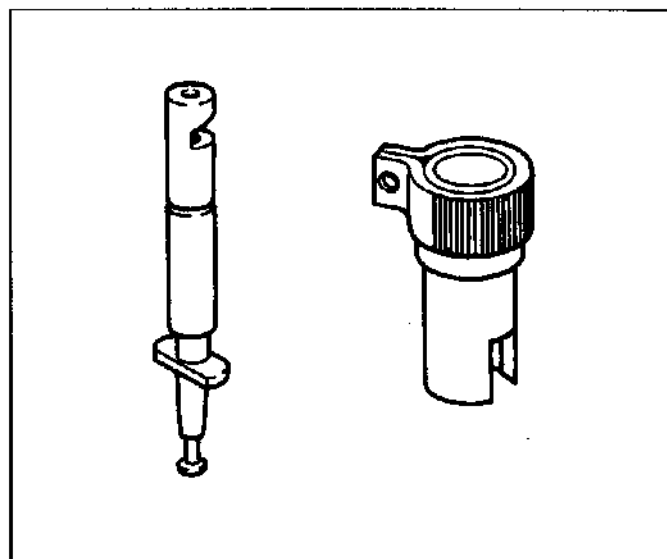


Figura 3-31 Émbolo y camisa de regulación

(14) Barra reguladora de cremallera

La barra reguladora de cremallera está provista de dientes de engrane que tienen la misma dimensión que los dientes de engrane del piñón de regulación. La barra reguladora de cremallera está instalada en el orificio de inserción de la caja de la bomba de inyección.

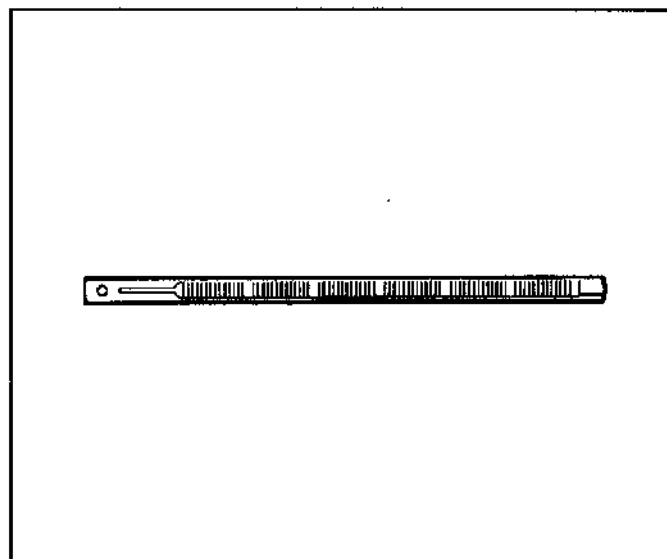


Figura 3-32 Barra reguladora de cremallera

El movimiento de la barra reguladora de cremallera —también llamada cremallera de regulación— es transmitido al piñón de regulación y a la camisa de regulación. A su vez, este movimiento de rotación es transmitido al émbolo. Esto es causa de que la posición del émbolo cambie en relación al cilindro, lo que hace variar el volumen de inyección de combustible. La barra reguladora de cremallera está conectada al regulador y es accionada por él.

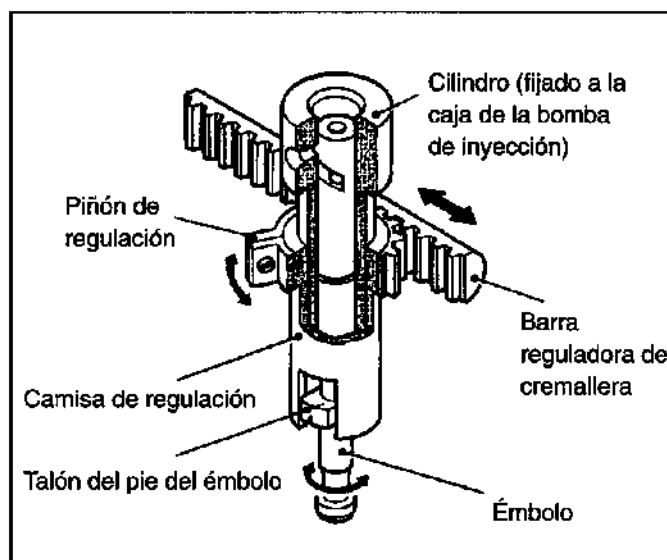


Figura 3-33 Mecanismo de rotación del émbolo

3-4. BOMBA TIPO NB (EP-9)

Como presentado anteriormente en el capítulo, para poder adaptar el empleo del sistema de inyección directa a los motores diesel de tamaño medio y para cumplir con las normas relativas a las emisiones de gases de escape, las bombas de inyección —en adelante llamadas “bombas”— deben satisfacer las exigencias de alta presión de inyección y de régimen elevado de inyección.

Teniendo en consideración tales exigencias, las bombas de tipo NB (EP-9), desarrolladas por Nippondenso, incorporan mejoramientos significativos de la presión de inyección permisible y del régimen permisible de inyección, y esto a pesar de su tamaño compacto (tienen el mismo tamaño que las bombas tipo A). Así entonces, para soportar la elevada presión de inyección han sido integrados: el cilindro de la bomba y el porta elemento. Adicionalmente, las aberturas en la parte delantera y en el fondo de la caja de la bomba A han sido suprimidas, para así conseguir un sistema sellado. La caja de la bomba, el árbol de levas y los cojinetes han sido especialmente reforzados. Para desmontar y montar los componentes funcionales de la bomba, se accede a tales componentes por la parte superior de la bomba.

Por consiguiente, gracias a que la bomba tipo NB (EP-9) proporciona funciones que son semejantes a las de la bomba tipo P y a que mantiene aproximadamente el mismo tamaño que el de la bomba A, se adapta bien a su utilización en los motores de los vehículos de tamaño medio o grande.

(1) Características

Las características de la bomba tipo NB (EP-9) son las siguientes:

- Sus dimensiones básicas son muy semejantes a las de la bomba tipo A y entonces ambos conjuntos de bomba son intercambiables.
- Gracias a su construcción completamente sellada, tiene excelentes cualidades de estanqueidad al agua y al polvo.
- Utiliza una barra reguladora de cremallera de perfil en ángulo de alas iguales, tal como la bomba tipo P.
- Su caja de bomba, árbol de levas y cojinetes han sido reforzados y pueden soportar altas presiones.
- Su capacidad de servicio es excelente ya que sus componentes funcionales como el elemento de bomba y los empujadores pueden ser reemplazados por la parte superior de la bomba, sin tener que sacar el árbol de levas.

La tabla siguiente compara las principales características de los diversos tipos de bomba.

Tipo de bomba		A	NB (EP-9)	P
Elemento				
Diámetro del émbolo	(mm)	5 ~ 9,5	9 ~ 12	7 - 13
Ascenso de la leva	(mm)	8, 9	10, 11	10, 11, 12
Diámetro del árbol de levas (en el cojinete de propulsión)	(mm)	17, 20	20, 25	20, 25
Carrera de la cremallera	(mm)	21	21	21
Número de cilindros		2 ~ 12	4 ~ 8	4 ~ 12
Presión máxima de inyección	(kg/cm ²)	600	800	900
Volumen máximo de inyección	(mm ³ /st)	120	230	350
Potencia útil del motor	(CV/cilindro)	~ 40	~ 60	~ 80

(2) Construcción

La figura 3-34 muestra el aspecto general de la construcción de la bomba tipo NB (EP-9).

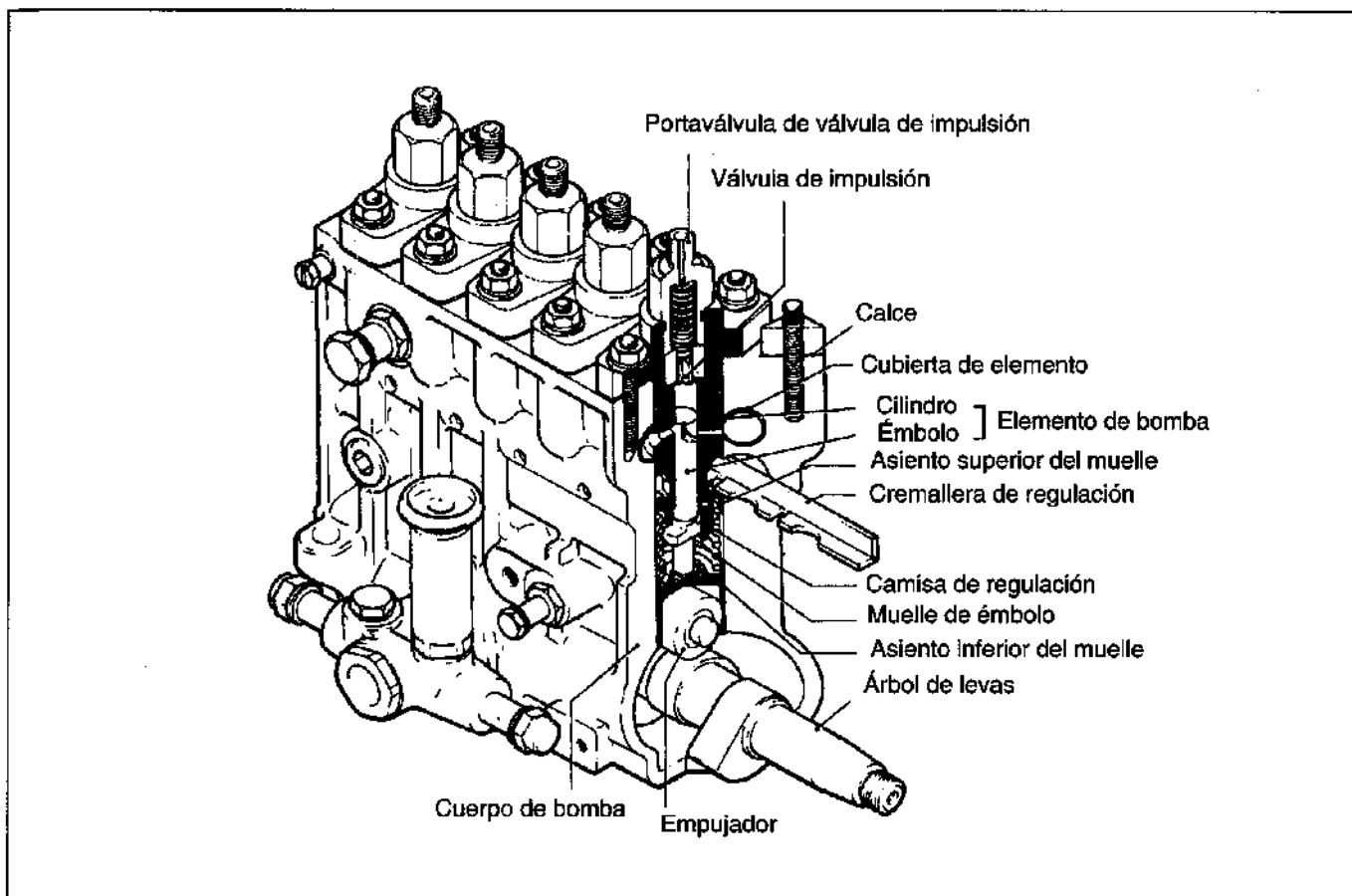


Figura 3-34. Vista general de la bomba

- La función de la caja de bomba —hecha de aluminio— es soportar y proteger los componentes interiores. Cada extremo del árbol de levas es soportado por el cojinete, y es accionado por el motor para hacer funcionar los émbolos y la bomba de alimentación.
- El elemento de bomba —constituido por un émbolo y un cilindro— es la parte más importante de la bomba. El émbolo es accionado por la leva —por intermedio del empujador— y efectúa un movimiento alternado en el cilindro para comprimir y suministrar el combustible. Al mismo tiempo, el movimiento lineal de la barra reguladora de cremallera hace que el émbolo gire para graduar el volumen de inyección. La válvula de impulsión, entrega o suministro y el portaválvula de la válvula de impulsión están montados en el cilindro, el que está integrado con el porta-elemento. La porción de brida del cilindro está situada sobre los dos pernos ciegos o espárragos, que salen del alojamiento de la bomba, y está fijada por dos tuercas.
Por consiguiente, tal como en el caso de la bomba tipo P, en la bomba tipo NB (EP-9) el cilindro soporta la fuerza de sujeción del porta válvula de la válvula de impulsión y —a diferencia de la bomba tipo A— ella está mejor adaptada para el funcionamiento a alta presión de inyección porque la fuerza no es aplicada directamente a la caja de la bomba.
- Para ajustar la pre-carrera del émbolo, un calce de ajuste está instalado debajo de la brida de cilindro. Además, la brida de cilindro tiene taladros roscados previstos para los espárragos. Por consiguiente, el volumen de inyección del elemento de bomba por cilindro puede ser ajustado girando la brida.

- d. Una funda anti-erosión está aplicada en la cámara de combustible del cuerpo de bomba. La relativamente alta presión de combustible—que sale por la lumbrera de descarga cuando el émbolo termina el suministro de combustible—es soportada por la funda para así proteger de la erosión el cuerpo de bomba. (En la bomba de tipo P, esta función es desempeñada por el anillo anti-erosión fijado al exterior del cilindro.)
- e. Una característica importante de la bomba tipo NB (EP-9) es que sus componentes funcionales pueden ser desmontados y montados por la parte superior de la bomba, sin tener que sacar el árbol de levas. No tiene abertura ni en la parte delantera ni el fondo del cuerpo de bomba, y el árbol de levas, el cuerpo de bomba y los cojinetes han sido reforzados lo que permite una construcción mejor adaptada para el funcionamiento a alta presión de inyección. Como lo muestra la figura 3-35, el asiento superior del muelle o resorte está posicionado en su emplazamiento mediante pasadores de fijación instalados a presión en el cuerpo de bomba.
- f. Para facilitar el montaje y el desmontaje del émbolo, el talón o tetón situado en la base o pie del émbolo tiene dos lados planos. Entonces, después de que el émbolo ha sido insertado en el asiento inferior del muelle o resorte, el émbolo debe ser girado de 90° para que funcione.

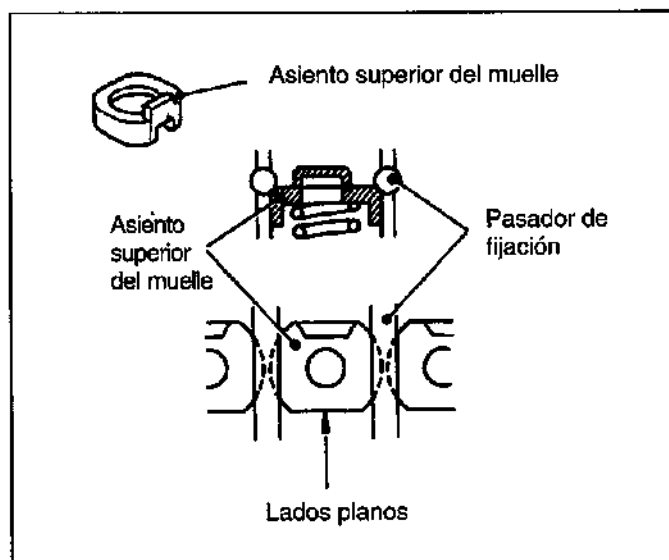


Figura 3-35 Asiento superior del muelle

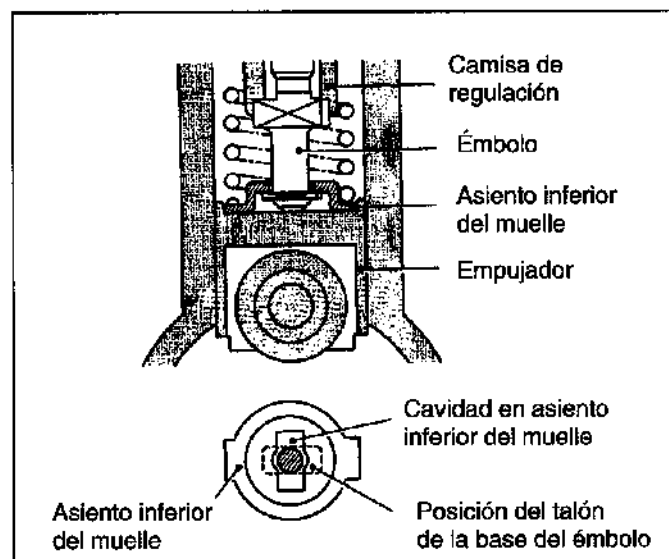


Figura 3-36 Base del émbolo

- g. En un lado del émbolo, o bien en los lados opuestos, están previstas ranuras helicoidales. La lumbrera de alimentación (a) está abierta hacia la cámara de combustible por el lado de la admisión de combustible, y la lumbrera de rebose (b) está abierta a la cámara de combustible por el lado de rebose.

La lumbrera de alimentación (a) y la lumbrera de rebose (b) están situadas de tal manera que quedan desplazadas verticalmente una de la otra. Por consiguiente, el combustible del lado de rebose, que puede contener burbujas de aire, no es aspirado directamente en el elemento de bomba. Así entonces, las operaciones de alimentación y de descarga son realizadas en forma precisa.

El cilindro tiene una ranura en forma de anillo y un calibre de retorno delgado y sesgado. El combustible que rebosa desde arriba pasa a través del calibre de retorno a la cámara de combustible del lado de la aspiración (baja presión).

- h. Como lo muestra la figura 3-38, la cámara de combustible del cuerpo de bomba está separada en cámara de admisión y cámara de rebose. Esta construcción garantiza que la presión de rebose no afectará el suministro de combustible.

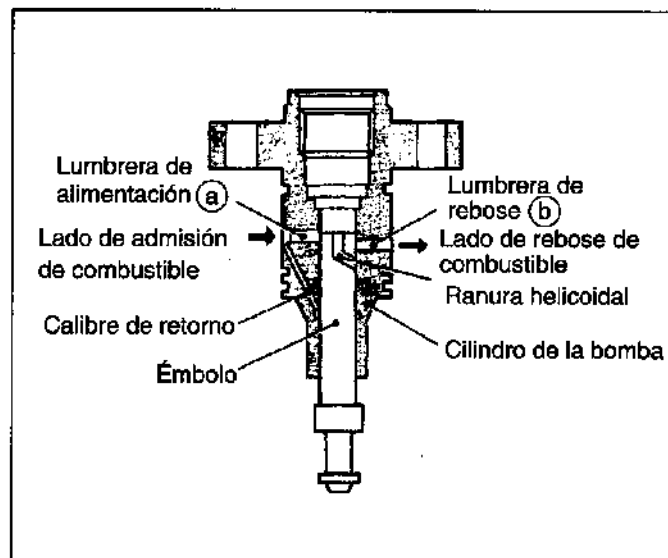


Figura 3-37 Ejemplo de un elemento de bomba

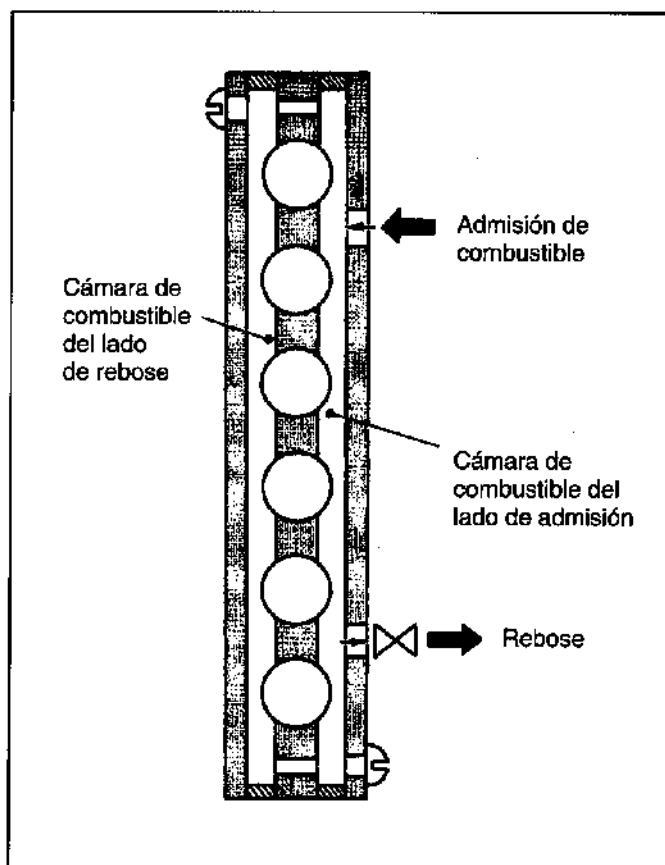


Figura 3-38 Cámara de combustible en el cuerpo de bomba

(3) Funcionamiento

a. Función de suministro de combustible

El combustible suministrado por la bomba de alimentación a la bomba de inyección es descargado a presión desde el elemento de bomba de acuerdo con el árbol de levas (es decir, el movimiento alternado del émbolo) en la forma siguiente:

- 1) Cuando el émbolo está en su punto muerto inferior, el combustible fluye desde la cámara de combustible a la cámara del émbolo a través de la lumbrera de admisión o suministro.
- 2) A medida de que el árbol de levas gira y que el émbolo sube, el borde superior del émbolo llega a estar al mismo nivel que el borde superior de la lumbrera de alimentación (a). En este momento, el combustible empieza a ser comprimido.
- 3) El movimiento ascendente del émbolo hace que la presión del combustible en la cámara del émbolo llegue a la presión de apertura de la válvula de impulsión o entrega. Entonces, el combustible bajo presión hace que la válvula de impulsión se abra, pasa por el tubo de impulsión o presión y fluye al inyector. Enseguida, el combustible es inyectado por la tobera del inyector en el cilindro del motor.

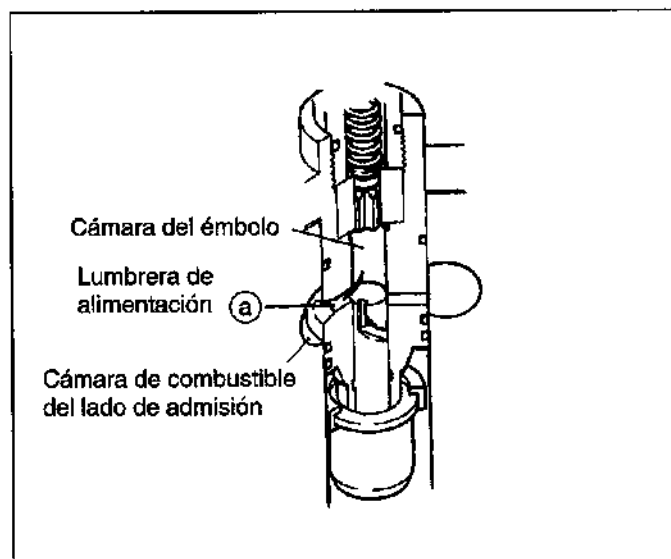


Figura 3-39 Función de suministro de combustible (admisión de combustible)

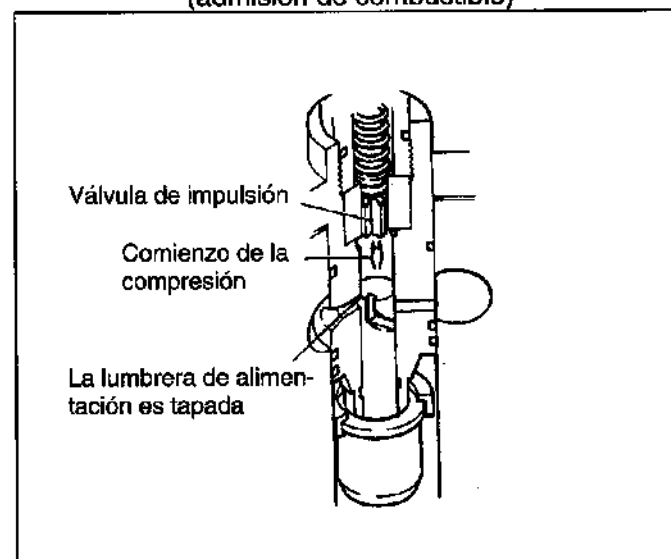


Figura 3-40 Función de suministro de combustible (comienzo del suministro)

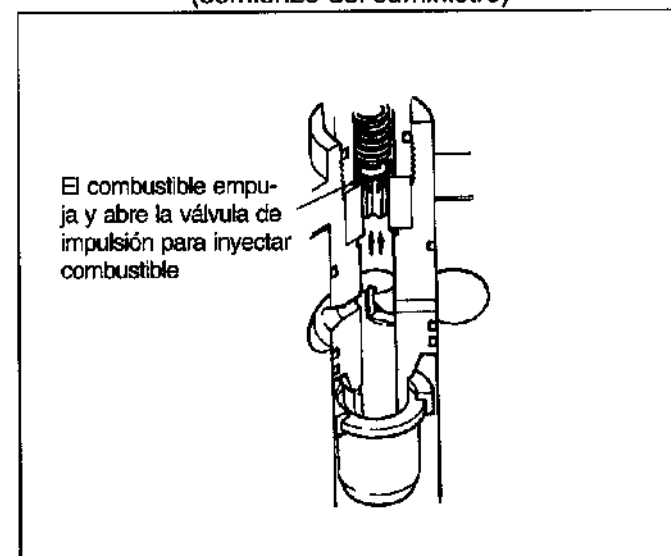


Figura 3-41 Función de suministro de combustible (proceso de suministro)

- (4) El émbolo sigue desplazándose hacia arriba y cuando su ranura helicoidal sesgada y la lumbrera de rebose (b) —a la derecha— están alineadas, el combustible a alta presión que está en la cámara del émbolo fluye pasando por la ranura helicoidal sesgada hacia la lumbrera de rebose (b) y por ella a la cámara de combustible del lado de rebose. Entonces, la presión del combustible baja y así se completa el ciclo de suministro de combustible.

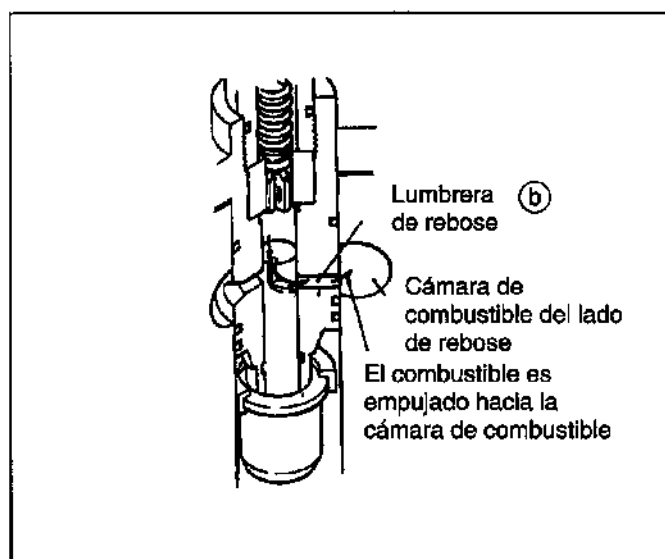


Figura 3-42 Función de suministro de combustible (fin del suministro)

b. Mecanismo de regulación del volumen de inyección

1) Construcción del mecanismo de regulación

El talón del pie del émbolo encaja en la escotadura vertical de la camisa de regulación, y la parte superior de la camisa provista de una bola encaja en la muesca de la cremallera de la barra reguladora con perfil de ángulo. Así entonces la camisa de regulación gira de acuerdo con el movimiento lineal de la cremallera de regulación y, mediante el talón de la base del émbolo, el émbolo gira también.

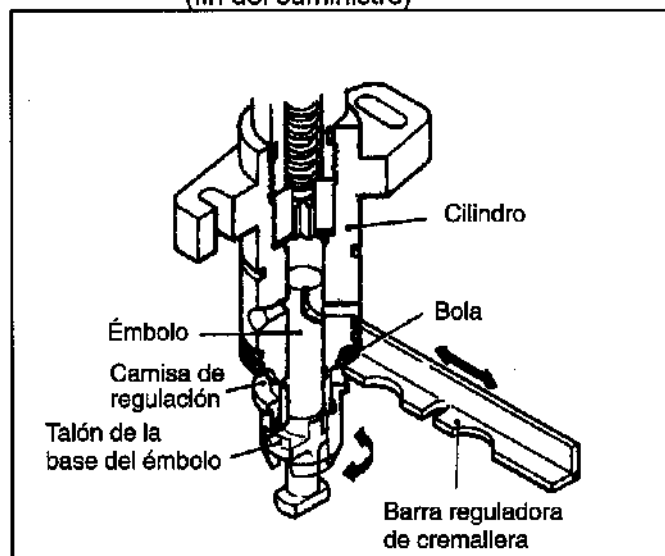


Figura 3-43 Mecanismo de regulación del volumen de inyección

2) Regulación del volumen de inyección

El regulador ajusta la posición de la barra reguladora de cremallera de acuerdo con la carga del motor, y de este modo regula la cantidad de combustible que los elementos de bomba inyectan a través de la tobera de inyección. La cantidad del combustible inyectado es regulada de la manera siguiente:

La figura 3-44 muestra el cambio del volumen de inyección en función de la posición del émbolo.

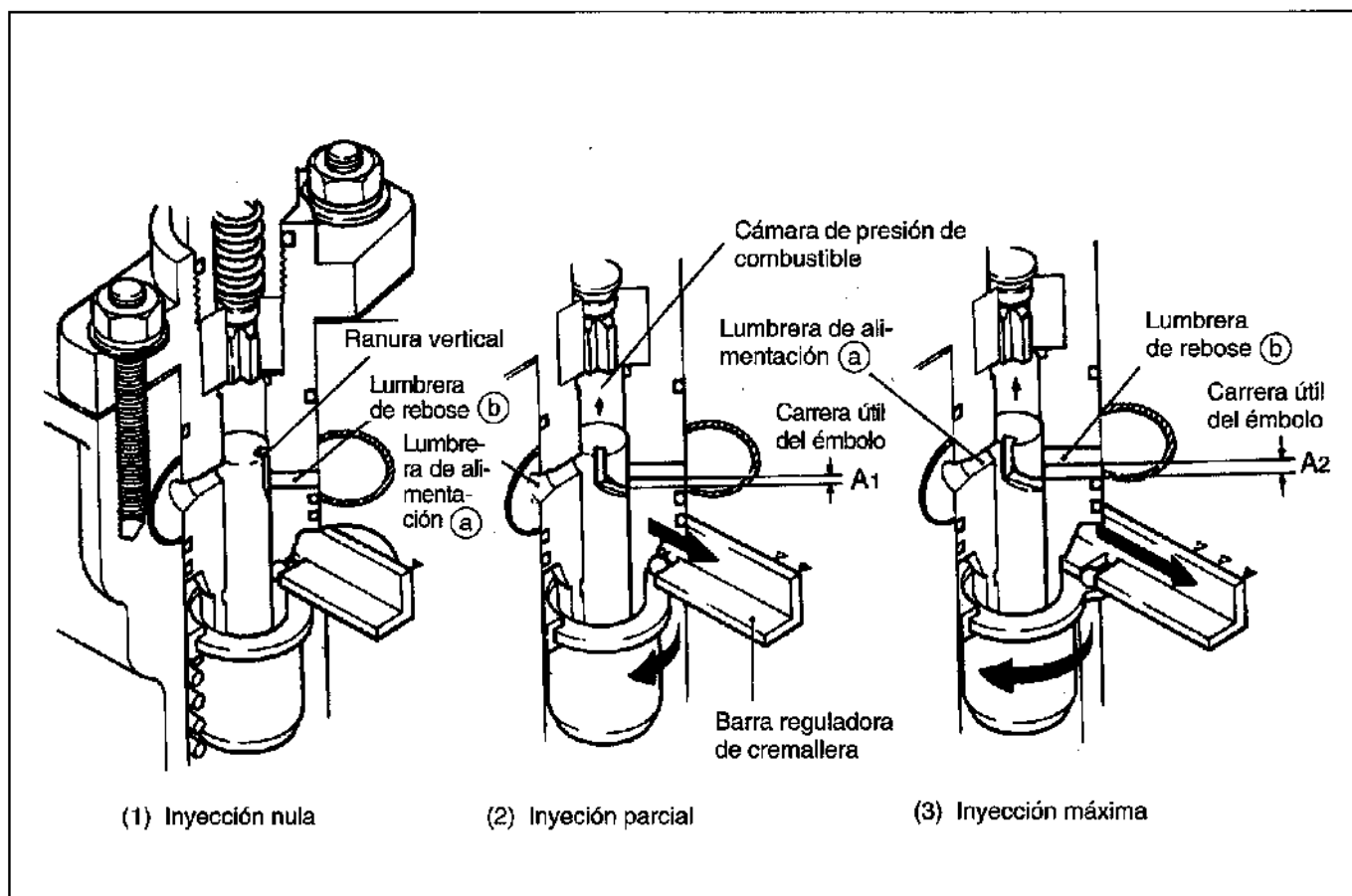


Figura 3-44 Regulación de la posición del émbolo y del volumen de inyección

[A] Inyección nula

En la figura 3-44 (1), la lumbrera de rebose (b) está alineada con la ranura vertical y entonces no se genera ninguna presión de combustible en la cámara de presión de combustible. Consiguientemente, no hay ninguna inyección de combustible.

[B] Inyección parcial

En la figura 3-44 (2), la cremallera de regulación ha recorrido la mitad de la carrera máxima, en el sentido de la flecha y de este modo ha girado el émbolo en el sentido contrario al de las agujas del reloj (si mirado por el fondo). Esta posición proporciona una carrera útil o efectiva igual a A_1 , y el combustible es inyectado desde el momento cuando el émbolo comienza a bombear el combustible hasta el momento cuando la ranura sesgada está en línea con la lumbrera de rebose.

[C] Inyección máxima

En la figura 3-44 (3), la cremallera de regulación se ha movido hasta el extremo derecho (motor totalmente cargado) y la carrera útil efectuada es igual a A_2 , que es la carrera máxima. El resultado es que se consigue el volumen máximo de inyección. Consecuentemente, la carrera útil o efectiva varía en función de la posición de giro del émbolo, lo que es causa de que el volumen de inyección varíe de manera proporcional a la carrera útil.

3-5. BOMBA TIPO P

(1) Construcción y funcionamiento

La figura 3-45 muestra cortes transversales de la bomba de tipo P y de la bomba de tipo A. En el caso de la bomba de tipo P, el elemento de bomba, la válvula de impulsión, y el portaválvula de la válvula de impulsión están instalados en el porta-elemento. El porta-elemento está fijado con pernos y tuercas en el cuerpo de bomba. Así entonces, el elemento de bomba utiliza un sistema de fijación suspendida y el porta-elemento soporta la fuerza de fijación del portaválvula de la válvula de impulsión. A diferencia entonces de la bomba tipo A, la fuerza no es aplicada directamente al cuerpo de bomba.

El anillo anti-erosión que está fijado en la parte exterior del cilindro de bomba captura el retorno de combustible procedente de la lumbrera de alimentación, que es producido por el elemento de bomba durante el suministro de combustible. Esto previene la erosión del cuerpo de bomba. (En el caso de la bomba tipo A, esta función es desempeñada por el tornillo adaptador localizado en la placa de tapa del cuerpo de bomba.)

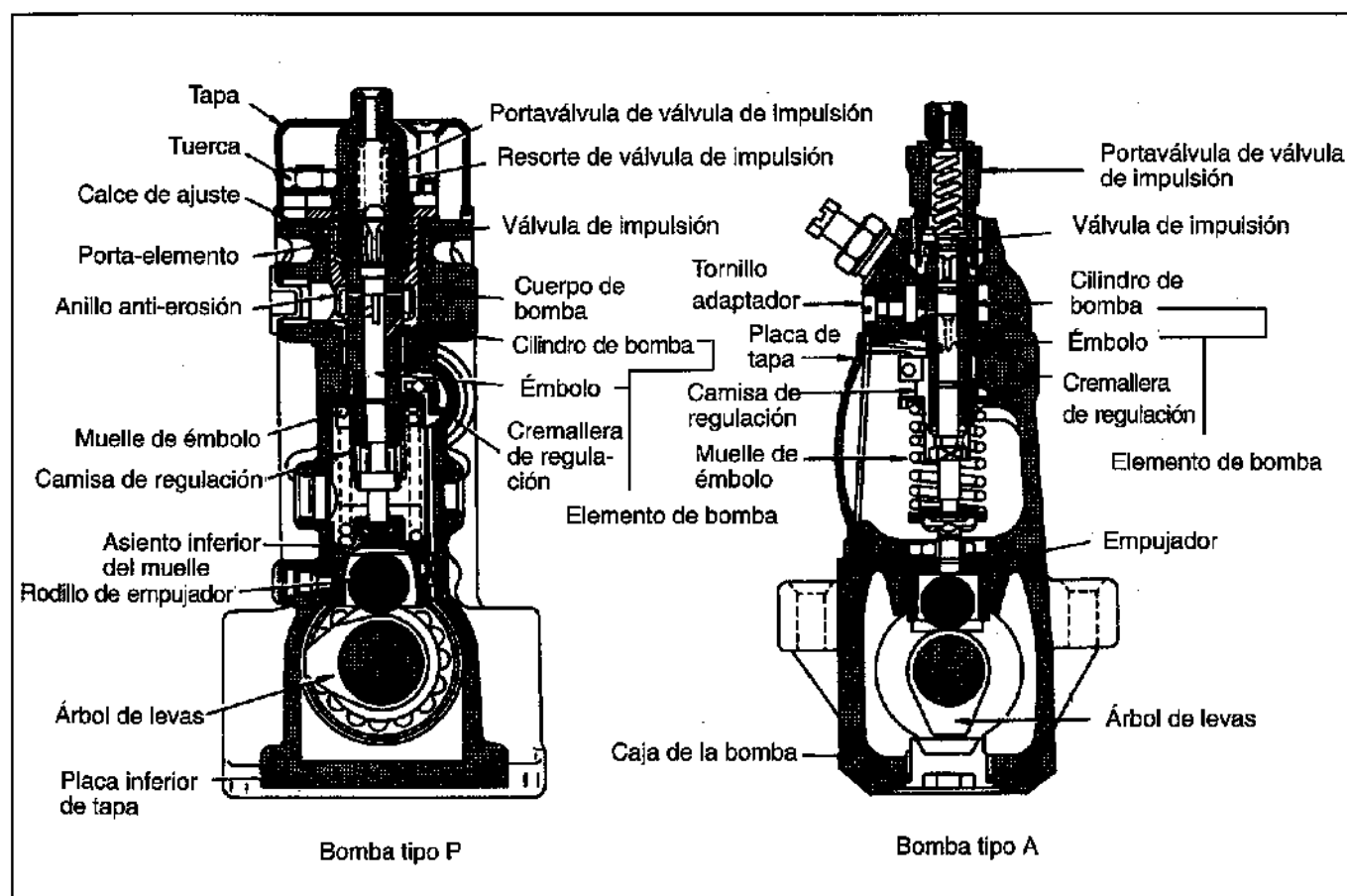


Figura 3-45 Construcción de bomba de inyección

- a. La figura 3-46 muestra un ejemplo de un elemento de bomba utilizado en la bomba de tipo P. La posición en la que la ranura vertical del émbolo está frente a la lumbrera de alimentación corresponde a una inyección nula. El suministro de combustible tiene lugar cuando el émbolo gira hasta la posición mostrada en la figura 3-46 (2).

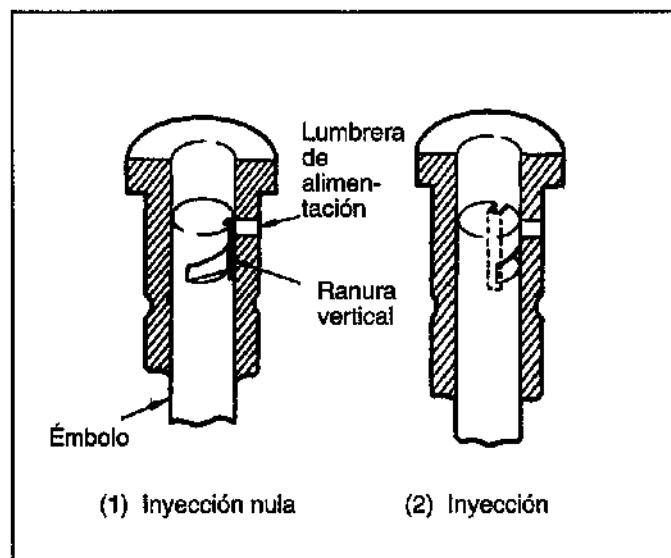


Figura 3-46 Elemento de bomba

- b. Como lo muestra la figura 3-47, la barra reguladora de cremallera tiene la forma de un perfilado en ángulo y tiene muescas. La parte superior de la camisa de regulación tiene una bola que se encaja en esta muesca. El movimiento lateral de la cremallera de regulación empuja la bola, lo que hace que la camisa de regulación gire. Al mismo tiempo, el émbolo gira y ajusta el volumen de inyección.

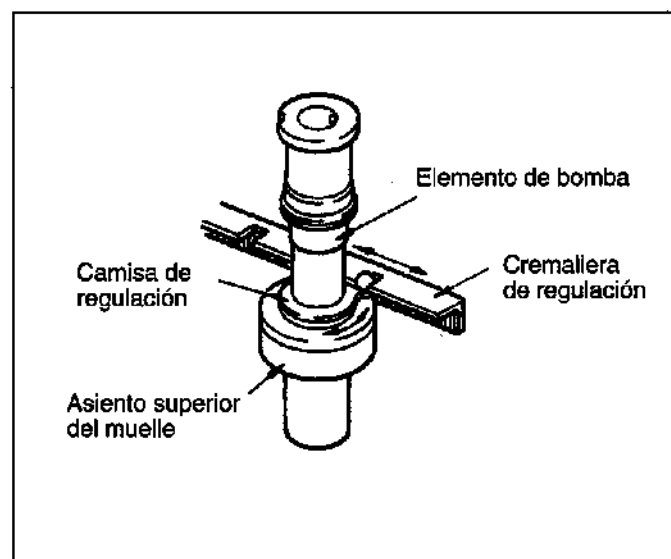


Figura 3-47 Cremallera de regulación y camisa de regulación

- c. En el caso de la bomba de tipo A, el ajuste del calado del comienzo de la inyección y el ajuste del volumen de inyección es efectuado por la rotación del émbolo. Pero en el caso de la bomba de tipo P, el ajuste del calado del comienzo de la inyección es efectuado aflojando las tuercas que fijan el porta-elemento en su sitio y cambiando el calce de ajuste ubicado debajo del porta-elemento. Para ajustar el volumen de la inyección en la bomba de tipo P, el porta-elemento es movido de un lado a otro para posicionar la lumbrera de admisión del cilindro de bomba, gracias al giro del porta-elemento.

Debido a que el cilindro de bomba está instalado a presión dentro del porta-elemento, el cilindro de bomba también gira cuando se gira el porta-elemento.

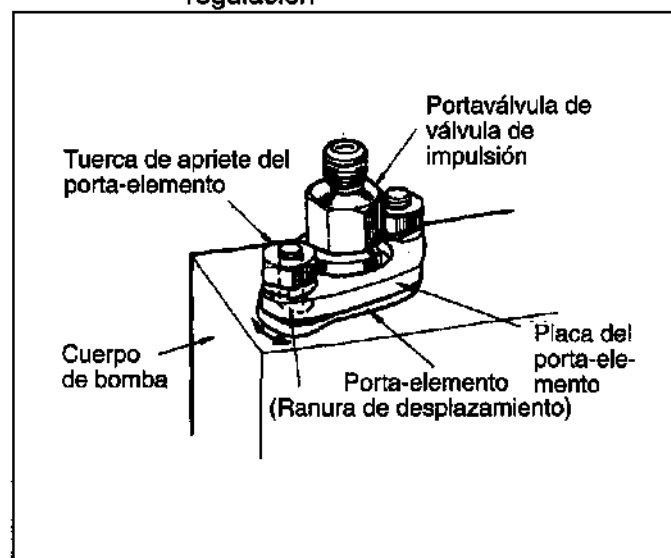


Figura 3-48 Sujeción de la válvula de impulso

3-6. COMPARACIÓN DE LAS DIMENSIONES Y DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNIDADES DE BOMBA EN LÍNEA

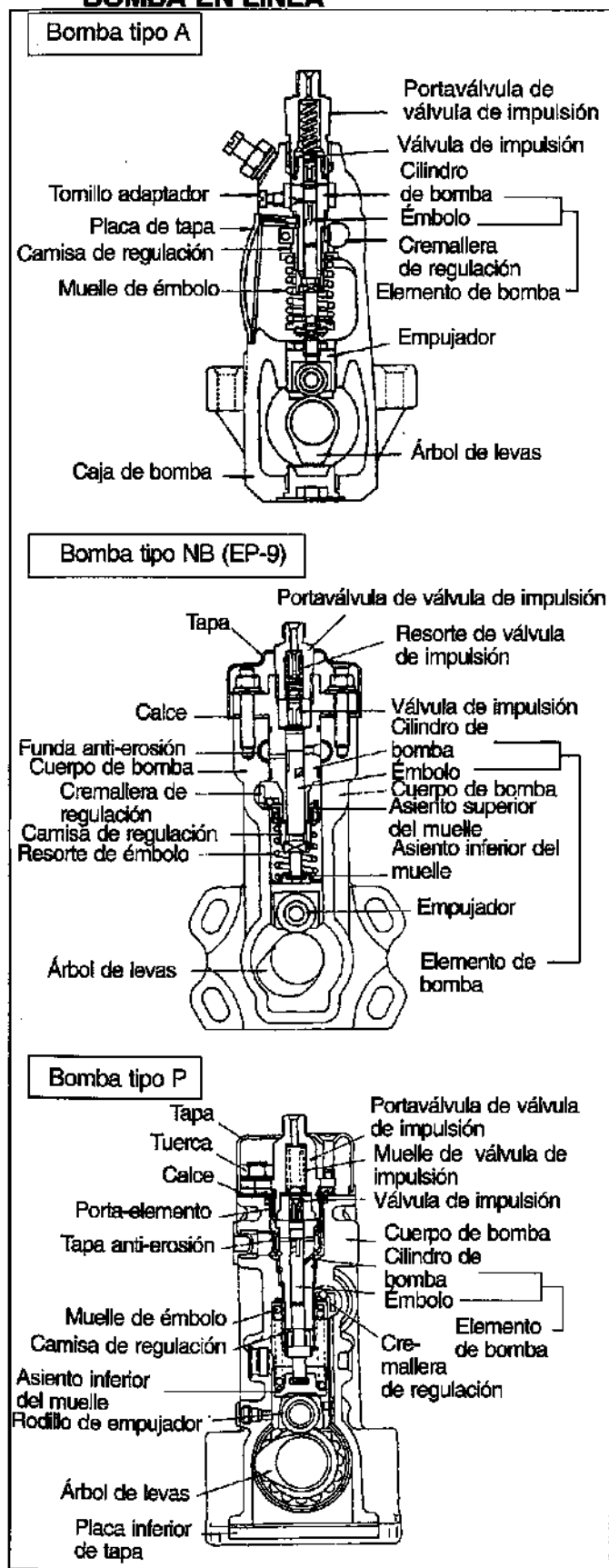


Figura 3-49 Comparación de la construcción de unidades de bomba en línea

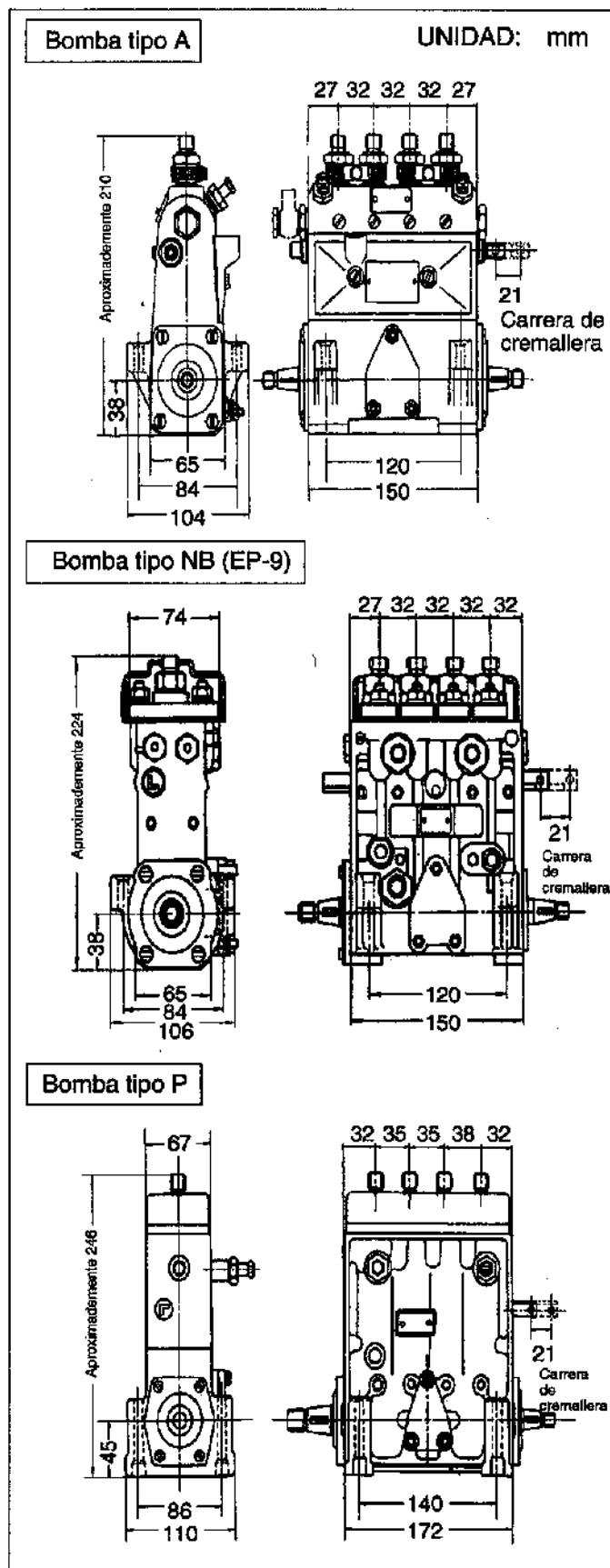


Figura 3-50 Comparación de las dimensiones de unidades de bomba en línea

3-7. LUBRICACIÓN DE LA BOMBA

En el pasado, para la lubricación de levas y empujadores era utilizado un sistema de lubricación mediante un depósito de aceite. El sistema de lubricación de tipo depósito de aceite mantiene un nivel constante de aceite en el cárter del árbol de levas. Pero este sistema afecta la duración de las levas y de empujadores porque el combustible que se escapa —por la separación que hay entre el émbolo y el cilindro— diluye el aceite de lubricación, lo que a veces es causa de que las levas y empujadores sean lubricados solamente con gasóleo (gas-oil). Este tipo de lubricación ha sido discontinuado y ha sido reemplazado por un sistema de lubricación forzada (o circulación de alimentación forzada). El sistema de lubricación forzada simplifica los procesos de inspección y de relleno, y es utilizado generalmente hoy en día.

(1) Sistema de circulación de alimentación forzada

En este sistema, la bomba está conectada al circuito de lubricación del motor. Como lo muestra la figura 3-51, el aceite de motor filtrado pasa a través de la separación o juego que hay entre el cuerpo de empujador de la bomba de inyección y el cuerpo de bomba y es suministrado a la cámara de levas y a la cámara del regulador.

Como es mostrado en la figura 3-52, cuando se ha sobrepasado cierto nivel, el aceite retorna por intermedio de un sangrador de rebose (en una bomba (PE) tipo ménsula) o a través del huelgo que hay entre la tapa de cojinete y el árbol de levas que no utiliza un retén de aceite, sello o sellador, (en la bomba (PES) tipo brida).

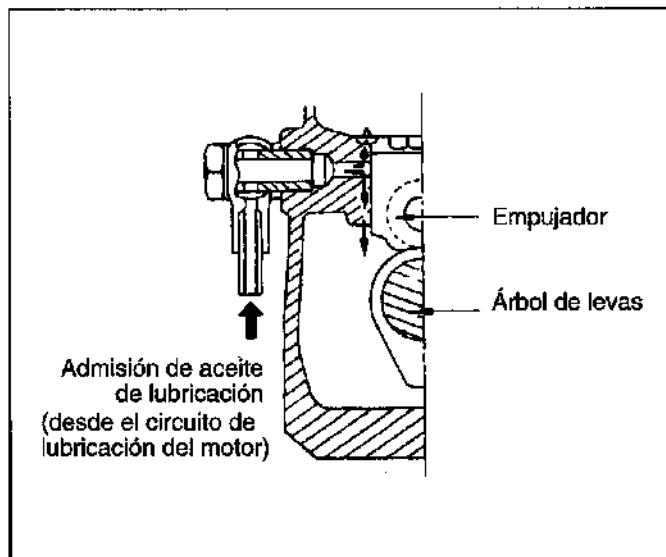
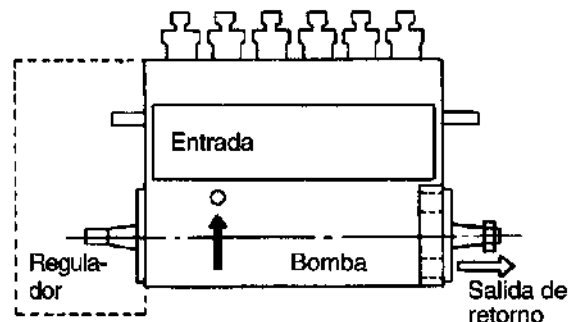


Figura 3-51 Admisión de aceite de lubricación por el juego del empujador

- (1) Salida de retorno sin retén de aceite de árbol de levas en la tapa de cojinete (tipo brida)



- (2) Salida de retorno en el circuito de retorno (tipo ménsula)

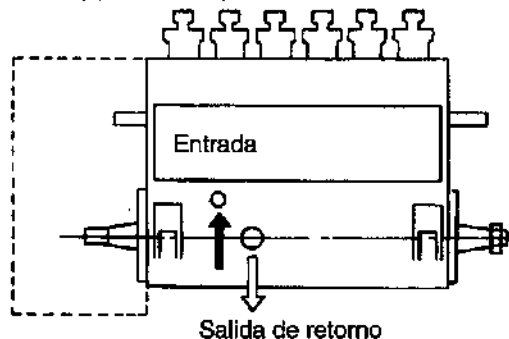


Figura 3-52 Trayecto del aceite de lubricación

(2) Lubricación de cámaras

El filtro de ventilación de la placa de tapa debe ser sacado para llenar con aceite de lubricación (aceite de motor). Para la cámara de levas y para la cámara del regulador hay un medidor de nivel y un tornillo de ajuste que permiten controlar el nivel de aceite.

El nivel de aceite debe ser verificado a intervalos especificados. Si el aceite de lubricación ha sido diluido por el combustible de las fugas de combustible, el exceso debe ser vaciado. Si el nivel de aceite es bajo habrá que agregar aceite. Además, los cambios de aceite deben ser efectuados a intervalos especificados.

Antes de hacer funcionar la bomba, se debe poner aceite de motor o un producto equivalente en la cámara de levas de la bomba y en la cámara del regulador.

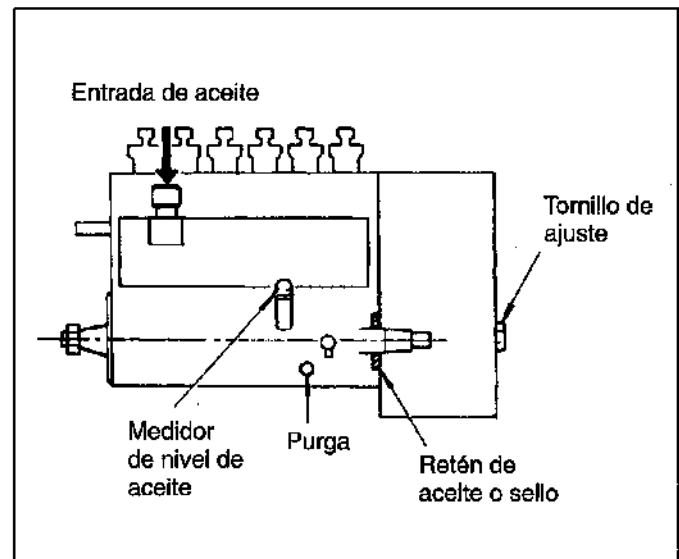


Figura 3-53 Lubricación de las cámaras

3-8. MONTURA Y ACCIONAMIENTO

Como es mostrado en la figura 3-54, una bomba de inyección está montada en una placa plana o sobre una ménsula que tiene una escotadura en forma de arco. Todas las bombas tipo PES, que son suministradas con una brida vertical de montura, están montadas en la caja de cambios del motor.

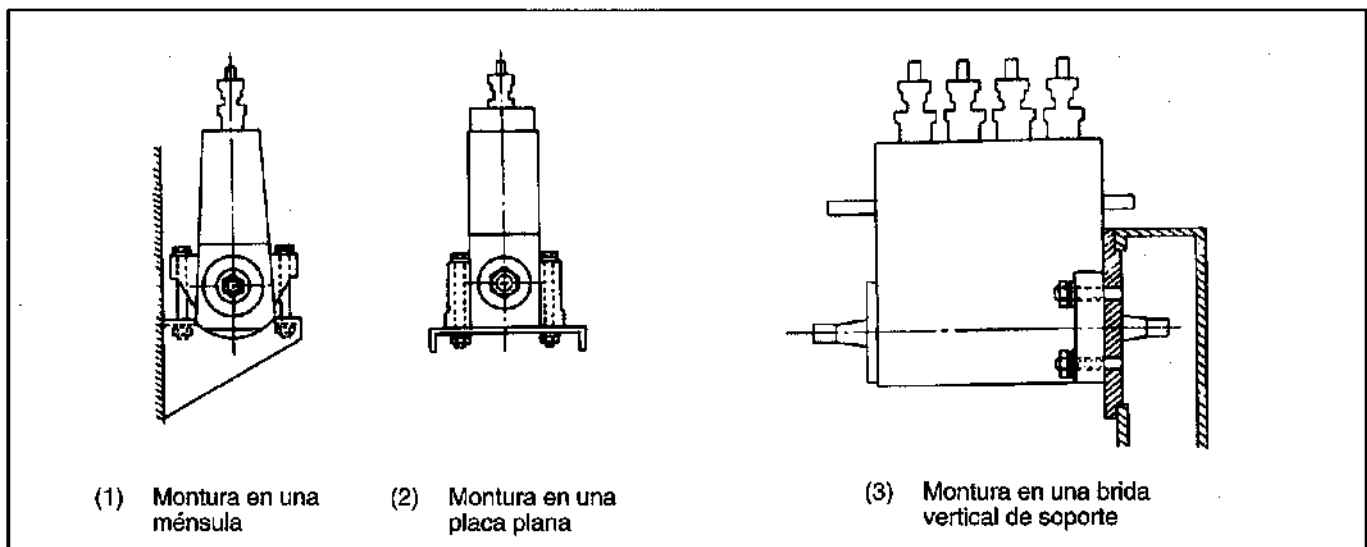


Figura 3-54 Montura de bomba

La desalineación del eje propulsor del motor y del eje de levas de la bomba debe ser inferior a los valores dados en la figura 3-55.

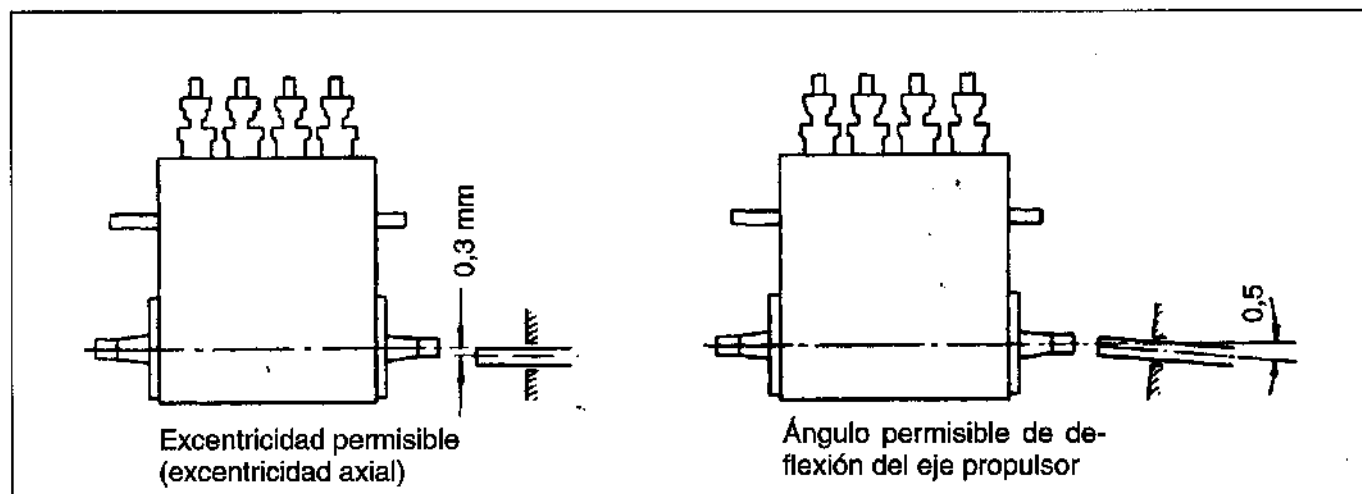


Figura 3-55 Excentricidad y deflexión permisibles

Si el acoplamiento propulsor de la bomba se afloja debido al desgaste, no debe emplearse porque puede retardar el calado del comienzo de la inyección.

Una pequeña excentricidad entre el cigüeñal del motor y el árbol de levas de la bomba puede ser eliminado por un acoplamiento. La figura 3-56 muestra un acoplamiento laminado.

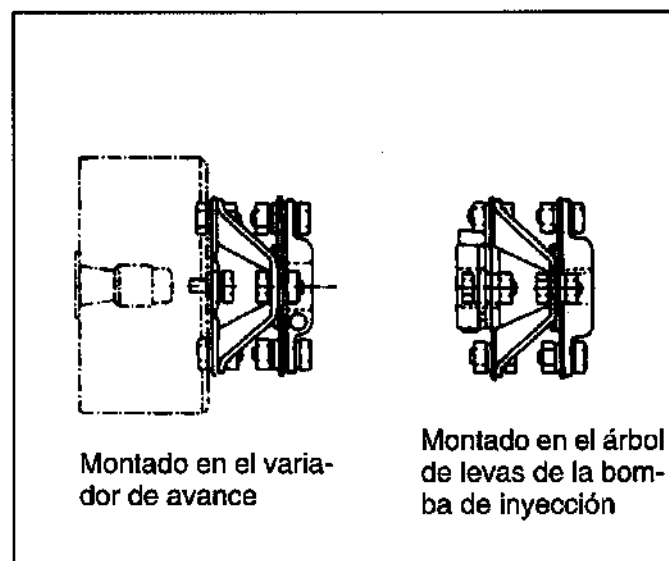


Figura 3-56 Acoplamiento laminado

4

REGULADOR

4. REGULADOR

4-1. FUNCIONES DEL REGULADOR

Cuando un vehículo está en actividad, necesita potencia que debe adaptarse a las diversas condiciones de carga. La función del regulador es la regulación automática del volumen de combustible en función de las fluctuaciones de la carga.

El volumen de inyección de combustible es ajustado mediante la modificación de la posición de la cremallera de regulación. Incluso un pequeño desplazamiento de la cremallera de regulación causa un cambio considerable de la potencia útil del motor. Debido a que el volumen de inyección es pequeño durante el funcionamiento sin carga a bajo régimen, el vehículo reacciona sensiblemente incluso a un ligero movimiento de la cremallera de regulación, y esto hace que la conducción sea difícil.

Por consiguiente, para conseguir que el vehículo varíe su velocidad en un intervalo tan amplio como lo necesite el conductor, un regulador debe tener las propiedades siguientes:

- Ser capaz de mantener la velocidad constante en diversas condiciones de carga.
- Ser capaz de variar continuamente la velocidad en un intervalo tan amplio como lo desee el conductor.
- Ser capaz de mantener el motor a un régimen de marcha lenta o ralentí determinado.
- Ser capaz de prevenir el trabajo forzado del motor.

4-2. TIPOS DE REGULADOR

Los reguladores actualmente utilizados en los automóviles pueden ser clasificados de acuerdo con su mecanismo de funcionamiento, en las categorías siguientes:

- Regulador neumático, que utiliza el vacío que es generado en el colector o múltiple de admisión.
- Regulador mecánico, que emplea la fuerza centrífuga producida por la rotación de los pesos centrífugos o masas del regulador.
- Regulador combinado, que combina las características del regulador mecánico y del regulador neumático.

Los reguladores también pueden ser clasificados de acuerdo con sus funciones, de la manera siguiente:

- Regulador de regulación continua o de todas velocidades, que regula el régimen del motor en todos los intervalos, desde el régimen de ralentí lento hasta el régimen máximo del motor.
- Regulador de régimen máximo y mínimo o de máxima-mínima, que suministra la regulación a régimen elevado para prevenir que el motor exceda su régimen máximo, y la regulación a régimen bajo del motor para garantizar que la marcha lenta sea suave, y que no proporciona ningún control de régimen intermedio del motor.

La tabla siguiente muestra la clasificación de los diversos reguladores empleados en los automóviles:

Tipo	Sistema de regulación	Sistema de regulación del régimen		Aplicación de plena carga		Enriquecimiento al arranque	Instalación de palanca de paro	Aplicaciones principales						
		Todos los regímenes	Máxima-mínima	Adaptación	Control de resorte de par			Camión/ bus	Vehículos especialmente equipados	Equipo para el sector de la construcción	Generadores	Buques	Equipo agrícola	Uso general
RU (V)	Mecánico	* ○	○	○		○	○	○	○					
RSV	↑	○		○	○	○	○			○	○	○	○	○
RSUV	↑	○		○	○	○	○			○	○	○	○	○
R801	↑	○		○	○	○	○	○	○					
R721, R811	↑	* ○	○	○		○	○	○	○					
R722 R812, R832	↑	* ○	○	○		○	○	○	○					
RQ	↑		○	○		○		○						
RQR	↑		○	○		○		○						
MZ	Neumático	○		○		○	○	○	○	○				
MN	↑	○		○		○	○	○	○	○				
Combinado	Mecánico/neumático	○		○		○	○	○	○	○				

* : Intercambiable máxima-mínima y todos los regímenes.

4-3. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

(1) Regulador neumático

El vacío producido en el tubo venturi es determinado por la abertura de la mariposa de gases y por el régimen del motor.

La posición de la barra reguladora de cremallera es determinada por el punto donde son equilibradas la fuerza del resorte principal y la fuerza del vacío.

La carga del motor puede ser representada por la posición de la barra reguladora de cremallera. Otro medio de describirlo es decir que la cantidad de carga en el motor está expresada por la cantidad de vacío.

Un regulador neumático funciona accionado por el vacío producido en el tubo venturi. El difusor o tubo venturi está en el colector o múltiple de admisión del motor. Por consiguiente, un regulador neumático está constituido por un tubo venturi y un regulador.

La parte reguladora está dividida en dos cámaras: la cámara de presión atmosférica, y la cámara de vacío. La cámara atmosférica está abierta a la atmósfera o conectada a la caja del filtro de aire, y la cámara de vacío está conectada mediante un orificio al conducto de salida del tubo venturi. La cámara de vacío contiene el muelle o resorte principal que empuja la barra reguladora de cremallera en el sentido del "aumento de combustible", gracias a la acción de una membrana.

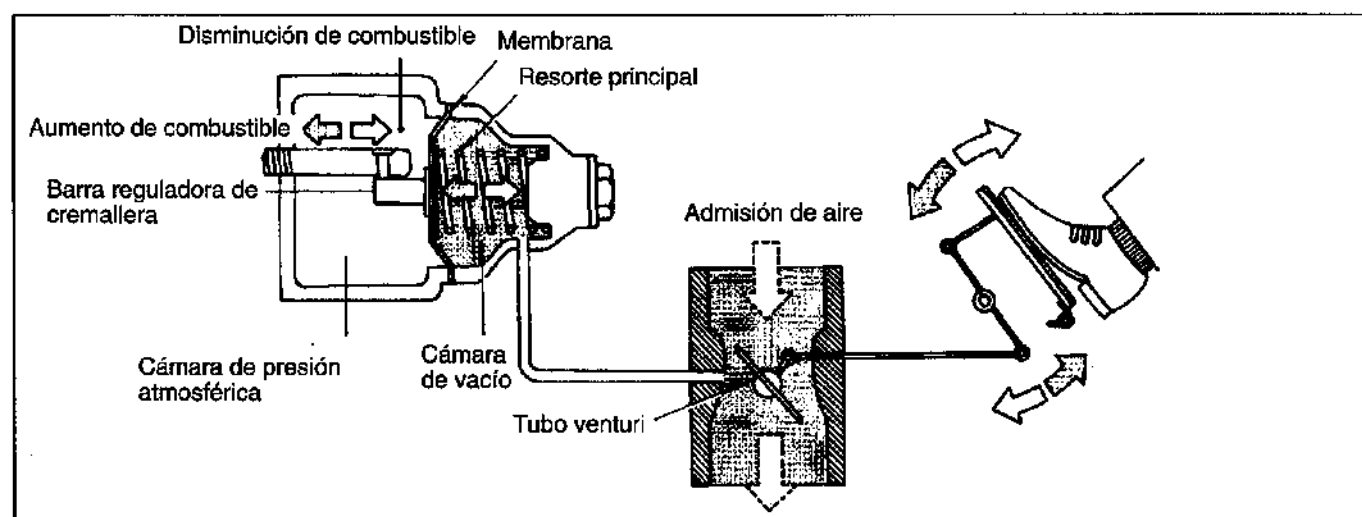


Figura 4-1 Diagrama del principio del funcionamiento del regulador neumático

Cuando un vehículo desciende pendiente abajo manteniendo el pedal de aceleración en la misma posición, el régimen del motor debería aumentar naturalmente debido a la reducción de la carga, produciendo un mayor vacío en la cámara de vacío. Porque la fuerza de vacío aumenta, la membrana del regulador (y por consiguiente la barra reguladora de cremallera) se desplaza en el sentido de la "disminución de la inyección" hasta que sean equilibradas la fuerza del muelle o resorte principal y la fuerza del vacío. Esta acción mueve la cremallera de regulación en el sentido de "menos combustible" donde son equilibradas la fuerza del resorte principal y la fuerza del vacío. Cuando la carga en el motor aumenta, como por ejemplo cuando el vehículo sube una cuesta, el regulador neumático funciona en el orden inverso y de este modo permite que el motor mantenga su régimen o velocidad prescrita.

Para acelerar un vehículo que es conducido con un vacío constante, el pedal del acelerador debe ser apretado más. Esto es causa de que la mariposa de gases se abra totalmente lo que disminuye el vacío y hace que la membrana del regulador mueva la barra reguladora de cremallera en el sentido del "aumento de combustible". Consiguientemente, el régimen del motor aumenta y el vacío resultante desplaza la cremallera de regulación hacia un nuevo estado de equilibrio. Para desacelerar, el regulador neumático funciona en el orden inverso.

(2) Regulador mecánico

Para regular el volumen de inyección, un regulador mecánico utiliza la fuerza centrífuga producida por la rotación de unos pesos centrífugos o masas. Los pesos centrífugos son accionados por el árbol de levas de la bomba de inyección. Un regulador mecánico está constituido por pesos centrífugos y varias palancas y resortes.

Los modelos mostrados en la figura 4-2 ilustran la construcción básica de un regulador mecánico, que está constituido por lo siguiente:

Un mecanismo para regular el volumen de la inyección mediante el ajuste del desplazamiento de la barra reguladora de cremallera.

El movimiento de las palancas que están conectadas al pedal del acelerador es transmitido a la barra reguladora de cremallera mediante la palanca de regulación, cuyo punto de apoyo está en el punto A.

Un mecanismo para regular el volumen de la inyección en los intervalos extremo máximo y mínimo del régimen o velocidad del motor, mediante el cambio de posición del punto de apoyo B de la palanca de guía.

Este mecanismo utiliza la fuerza centrífuga producida por los pesos centrífugos o masas que giran con el árbol de levas.

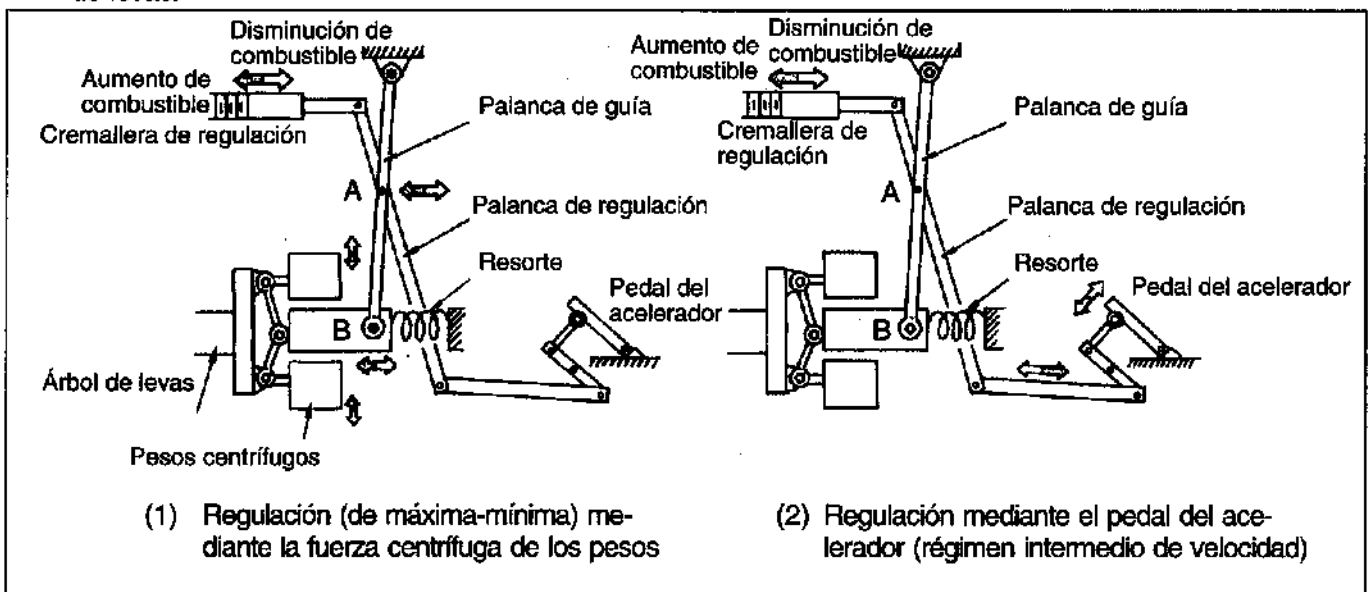


Figura 4-2 Principio del funcionamiento de un regulador mecánico

Si, por alguna razón, el régimen del motor disminuye mientras está en la marcha lenta o ralenti, la fuerza centrífuga disminuye, como lo muestra la figura 4-2 (1). La fuerza ejercida por el muelle o resorte se hace mayor que la fuerza centrífuga producida por los pesos y la barra reguladora de cremallera es empujada y desplazada hacia la izquierda, lo que equivale a mover el punto B hacia la izquierda. Conjuntamente con el movimiento del punto B, el punto de apoyo A de la palanca de guía también se desplaza hacia la izquierda. Este movimiento es transmitido mediante la palanca de regulación para mover la barra reguladora de cremallera en el sentido del "aumento de combustible", lo que incrementa el volumen de la inyección. Como consecuencia, la velocidad del motor aumenta hasta la velocidad o régimen de ralenti especificado.

En otra situación cuando el motor funciona a un régimen próximo a su régimen máximo—si la velocidad del motor llega a exceder el régimen máximo especificado del motor—la fuerza centrífuga que es producida por los pesos se hace mayor que la fuerza del resorte que empuja la cremallera de regulación. Consecuentemente, el punto B se desplaza hacia la derecha y conjuntamente con este movimiento el punto de apoyo A de la palanca de guía también se mueve hacia la derecha. Este movimiento es transmitido mediante la palanca de regulación para desplazar la barra reguladora de cremallera en el sentido de la "disminución de combustible", lo que a su vez disminuye el volumen de la inyección. Como consecuencia, la velocidad del motor disminuye para evitar el trabajo forzado del motor. La fuerza del muelle o resorte que empuja la barra reguladora de cremallera es en realidad producida por dos resortes: un resorte blando que trabaja en el intervalo de las velocidades intermedias del motor, y un resorte duro que empuja la cremallera de regulación hacia la izquierda hasta que el motor llegue al régimen máximo prescrito. En el intervalo de velocidades intermedias del motor, la barra reguladora de cremallera no es afectada por la acción de los pesos centrífugos o masas del regulador.

En el intervalo de velocidades intermedias del motor, la acción del conductor sobre el pedal del acelerador —que está conectado a la palanca de regulación— ajusta el volumen de inyección. Como es mostrado en la figura 4-2 (2), debido a que la barra reguladora de cremallera no es afectada por la acción de los pesos centrífugos en el intervalo de velocidades intermedias del motor, la posición del punto de apoyo A de la palanca de regulación permanece fija. En este estado, si el conductor aprieta el pedal del acelerador, la palanca de regulación (cuyo punto de apoyo está en A) empuja la barra reguladora de cremallera en el sentido del “aumento de combustible”, lo que incrementa la inyección de combustible. Cuando se suelta el pedal del acelerador, la palanca de regulación empuja hacia atrás la cremallera de regulación, y reduce así el volumen de la inyección. Por consiguiente, para regular la potencia útil del motor en los intervalos de máxima y de mínima, los reguladores mecánicos centrífugos convencionales ajustan el volumen de la inyección utilizando la fuerza centrífuga producida por los pesos. Y en el intervalo de régimen intermedio del motor, el ajuste se hace por intermedio del pedal del acelerador.

4-4. REGULADOR TIPO RU

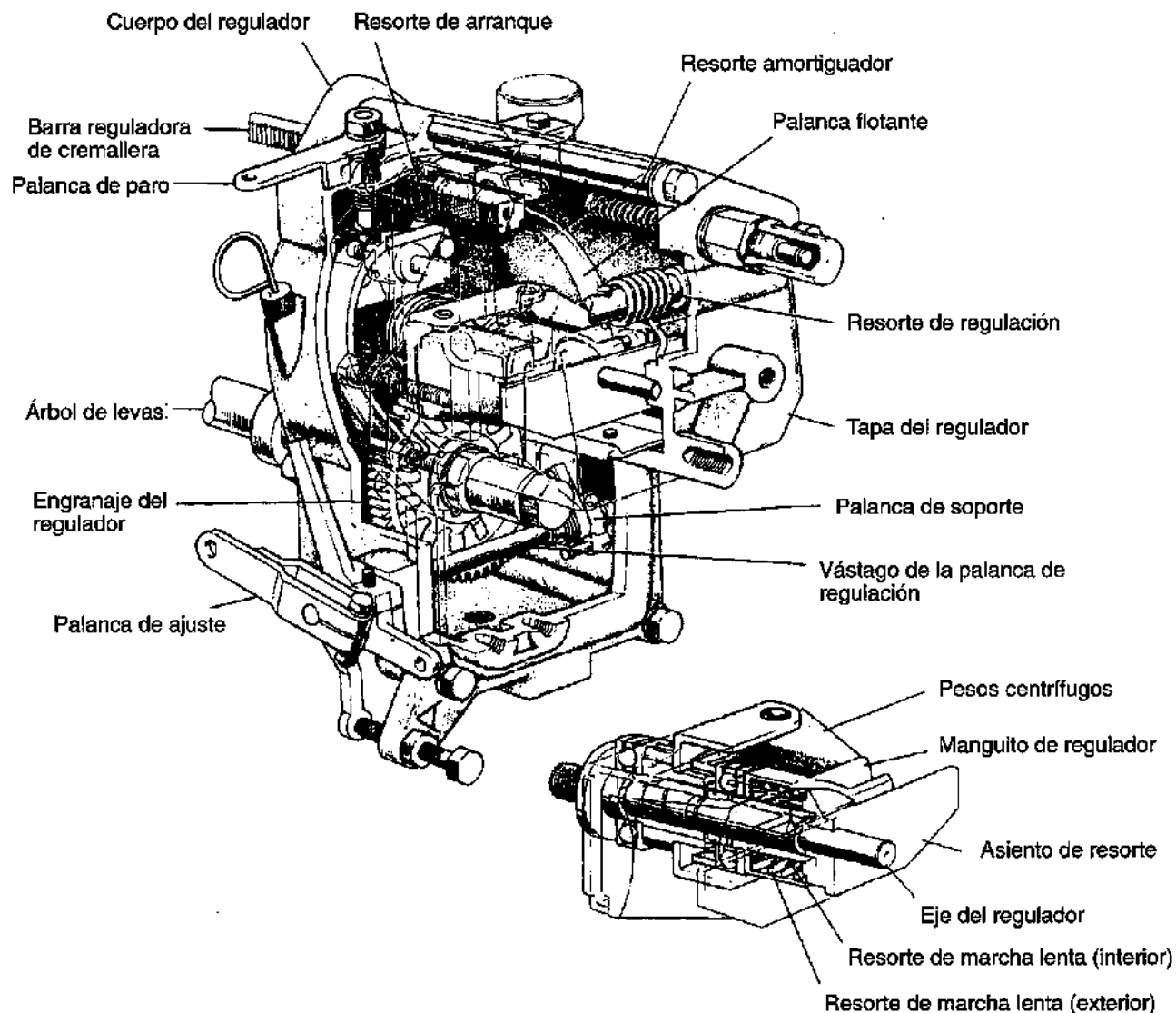


Figura 4-3 Construcción del regulador tipo RU

El regulador es accionado por el engranaje (grande) conductor del regulador y que está instalado en el árbol de levas de la bomba de inyección. El engranaje propulsor del regulador engrana con el engranaje (pequeño) propulsado que está instalado en el conjunto de pesos centrífugos o masas. El engranaje propulsado está instalado en el eje del regulador, que está fijado al cuerpo del regulador. El disco deslizante es una pieza del conjunto del engranaje propulsor del regulador cuya función es amortiguar la vibración giratoria del árbol de levas de la bomba para así entonces proteger los componentes del regulador de daños eventuales. El disco deslizante permite al engranaje del regulador deslizarse momentáneamente sobre el casquillo del árbol de levas cuando la velocidad de giro del árbol de levas de la bomba cambia súbitamente. Esto permite el funcionamiento fácil de los pesos centrífugos y contribuye a reducir el desgaste de los componentes del regulador.

El conjunto del engranaje del regulador está constituido por: el casquillo del árbol de levas, que está fijado por la tuerca redonda al árbol de levas de la bomba; el disco deslizante, que aprieta el engranaje propulsor contra el casquillo del árbol de levas; y el engranaje propulsor, que se engrana con el engranaje propulsado. El disco deslizante está fijado en el casquillo del árbol de levas con el circlip de retención. Debido a que la razón de engranaje entre el engranaje propulsor y el engranaje propulsado es de 2,43:1, los pesos centrífugos y el eje del regulador giran a 2,43 veces la velocidad de giro del árbol de levas. Esto permite que el regulador suministre una regulación precisa en todas las velocidades o regímenes del motor.

A medida de que el conjunto de pesos centrífugos gira, la fuerza centrífuga desplaza los pesos hacia afuera. Esta fuerza también es causa de que los brazos de los pesos centrífugos o masas se deslicen longitudinalmente a lo largo del eje del regulador, y que el conjunto del manguito se desplace hacia la parte trasera del regulador. Durante el régimen de ralentí o marcha lenta, los resortes interior y exterior, que están instalados dentro del manguito del regulador, contrarrestan la fuerza centrífuga producida por los pesos. El resorte de regulación, cuya tensión propia es considerable, está instalado sobre el vástago fijado a la tapa del regulador. El resorte de regulación presiona el asiento del muelle contra la porción escalonada del eje del regulador hasta que se alcance el régimen de plena carga.

El manguito del regulador, que está instalado en el eje del regulador, tiene ranuras en su parte trasera para engranar con el pasador pivote de la palanca flotante. Los brazos de los pesos centrífugos hacen presión contra el lado de empuje del cojinete de bolas en la parte delantera del manguito del regulador. Así entonces, cualquier movimiento del manguito del regulador es seguido por la palanca flotante.

El extremo superior de la palanca flotante está conectado con la barra reguladora de cremallera mediante su gemela. El extremo inferior de la palanca flotante está conectado a la palanca de soporte mediante el pasador de conexión. La palanca de soporte se ajusta sobre el vástago de la palanca o varilla de regulación, aunque ellas no están directamente conectadas.

La palanca de soporte está conectada con el vástago de la varilla de regulación mediante el muelle o resorte de seguridad y el brazo. Para proteger los componentes funcionales del regulador, el muelle de seguridad tiene como función absorber fuerzas indebidas cuando la palanca flotante es empujada hacia atrás con fuerza excesiva. Debido a que la palanca de ajuste (que está conectada al vástago de la palanca de regulación) está también conectada con el pedal del acelerador, cualquier movimiento de la palanca de ajuste causa el movimiento de la palanca de soporte y, consecuentemente, de la barra reguladora de cremallera.

El resorte de arranque está colocado entre el brazo de la gemela del brazo de regulación y la consola del cuerpo del regulador con el fin de enriquecer la mezcla durante el arranque del motor.

El muelle de amortiguación, instalado en la parte superior de la tapa del regulador, amortigua el movimiento de la palanca flotante cuando la barra reguladora de cremallera se mueve hacia atrás. El resorte de amortiguamiento está entonces previsto para evitar que el motor se cale y bombee cuando el régimen del motor disminuye repentinamente a un valor inferior al del régimen normal de marcha lenta o ralentí.

La palanca de paro, instalada en la parte superior del cuerpo del regulador, está conectada mediante un vástago a al brazo instalado dentro del regulador. Cuando la palanca de paro es empujada hacia la bomba, esto es causa de que el brazo se mueva hacia atrás y, a su vez, esto hace que la barra reguladora de cremallera se desplace hacia atrás, hacia la posición de corte de combustible.

La palanca de paro está prevista para que cuando sea soltada vuelva a su posición normal de funcionamiento, como es mostrado en la figura 4-4.

Como es mostrado en la figura 4-5, el regulador tipo RU incorpora un sistema de calado que consiste en una marca de calado estampada en la periferia del conjunto del engranaje del regulador, y un puntero indicador de calado grabado en la caja del regulador. Este sistema facilita el procedimiento de calado del regulador mecánico de la bomba tipo PES, en el motor.

Para comprobar el calado, saque de la caja del regulador el tapón de orificio de calado. Enseguida, gire el árbol de levas de la bomba de inyección hasta que la marca de calado de la periferia del conjunto del engranaje del regulador quede alineada con el puntero indicador de calado. Esta es la posición del comienzo de la inyección de combustible en el cilindro n° 1.

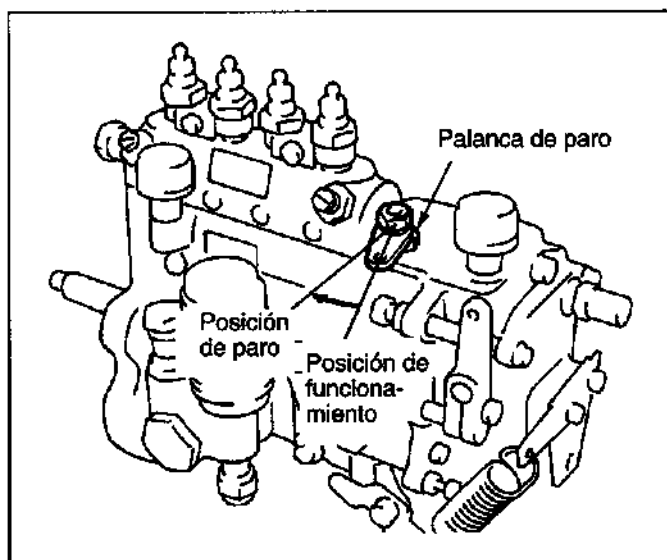


Figura 4-4 Palanca de paro

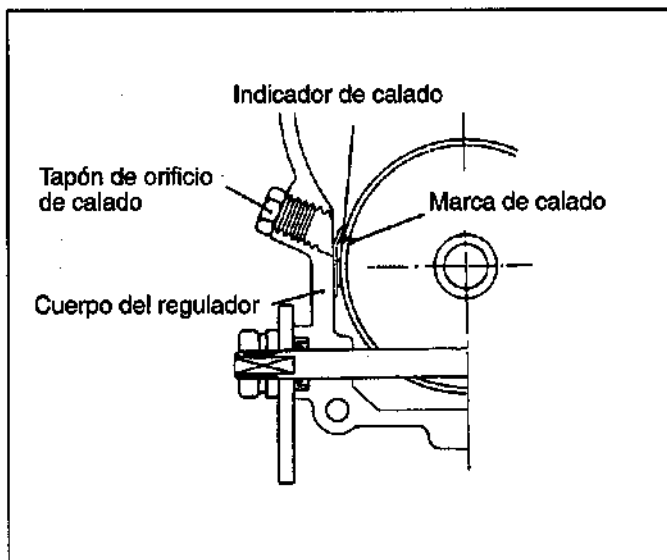


Figura 4-5 Alineación de calado

(1) Funcionamiento

a. Arranque del motor

Cuando el motor está apagado, los pesos centrífugos o masas del regulador están en reposo, y ninguna fuerza centrífuga es aplicada al manguito del regulador. Antes de que el motor arranque, el conductor aprieta el pedal del acelerador para que la palanca de ajuste se mueva a la posición de plena carga. Entonces, la palanca flotante —que gira en el pivote A— gira a la izquierda, haciendo que el resorte de arranque empuje la barra reguladora de cremallera y la palanca flotante en el sentido del "aumento de combustible". De este modo, es suministrado combustible adicional para ayudar al arranque del motor.

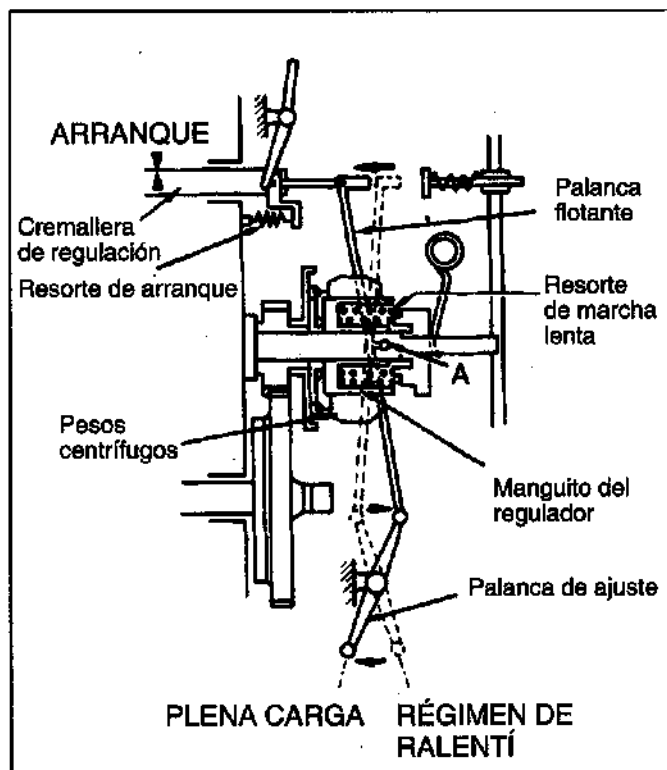


Figura 4-6 Arranque del motor

b. Control de la marcha en vacío

Cuando el motor ha arrancado, el conductor suelta el pedal del acelerador, lo que causa que la palanca de ajuste vuelva a la posición de marcha lenta (en vacío, o baja). La palanca flotante, que gira en el pivote A, empuja la barra reguladora de cremallera en el sentido de la "disminución de combustible". El motor desacelera y la fuerza centrífuga producida por los pesos centrífugos o masas del regulador disminuye. El resultado es que la fuerza combinada de los resortes de marcha lenta sobrepasa la fuerza centrífuga producida por los pesos y mueve el manguito del regulador hacia la izquierda. Entonces, los pesos centrífugos se mueven hacia el interior lo que causa que la barra reguladora de cremallera se mueva a la posición en la que la fuerza centrífuga producida por los pesos y la fuerza combinada de los resortes de marcha lenta y del resorte de arranque están en equilibrio, y de este modo se consigue que el régimen de ralentí sea suave y estable.

Si la velocidad del motor excede el régimen de marcha lenta especificado, la fuerza centrífuga producida por los pesos centrífugos aumenta lo que es causa de que el manguito del regulador comprima los resortes interior y exterior de marcha lenta. Entonces, la palanca flotante se desplaza hacia atrás y hace que la barra reguladora de cremallera se desplace en el sentido de la "disminución de combustible".

El muelle amortiguador no está en contacto con la palanca flotante cuando el motor está en régimen de ralentí estable. Sin embargo, si el régimen del motor baja repentinamente cuando está funcionando a régimen elevado y causa que la barra reguladora de cremallera se desplace más allá de la posición de régimen de ralentí hacia el sentido de la "disminución de combustible", el resorte de amortiguación entra en acción y contrarresta este movimiento para evitar que el motor se cale.

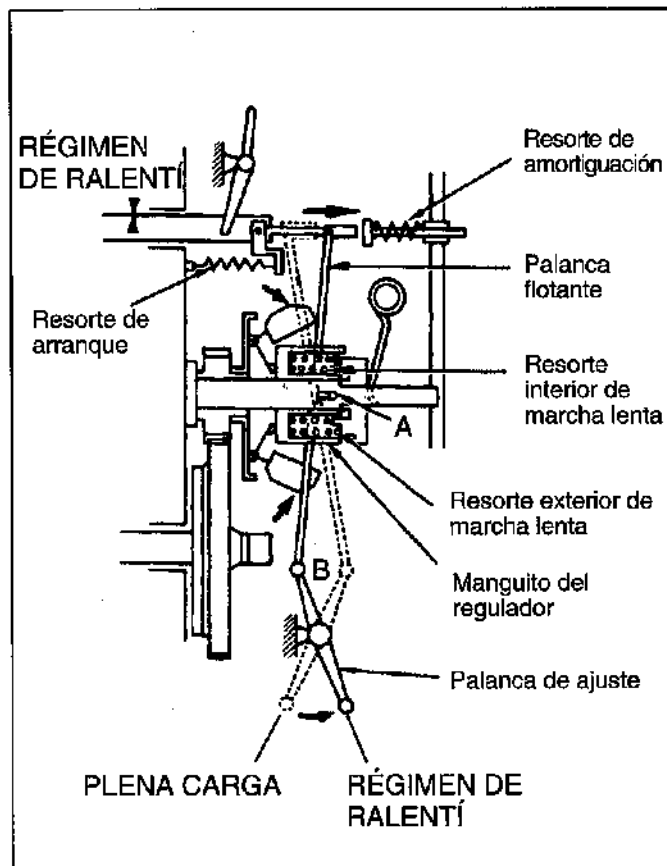


Figura 4-7 Régimen de ralentí

c. Control de regímenes intermedios

Cuando el pedal del acelerador es apretado gradualmente haciendo que la palanca de ajuste se mueva a la posición de plena carga, la palanca flotante —que gira en el pivote A— mueve la barra reguladora de cremallera en el sentido del “aumento de combustible”. Conjuntamente con este incremento del régimen del motor, el manguito del regulador se mueve hacia la derecha. Y los dos resortes de marcha lenta, interior y exterior, contribuyen a mantener el control de régimen del regulador hasta que el manguito del regulador entre en contacto con el asiento del muelle o resorte.

Una vez que el manguito del regulador entra en contacto con el asiento del muelle, el punto A deviene un punto de apoyo fijo. Esto es debido al hecho de que la fuerza considerable del resorte de regulación mantiene el asiento de resorte firmemente contra la porción escalonada del eje del regulador. Así entonces, para permitir que el conductor regule el régimen del motor de acuerdo con la carga del motor, cualquier movimiento de la palanca de ajuste es aplicado directamente para regular el suministro de combustible. Durante esta fase, el regulador no efectúa ninguna regulación del régimen del motor.

d. Control del régimen máximo

Cuando la palanca de ajuste está colocada en la posición de plena carga y la carga del motor es reducida repentinamente, el régimen del motor aumenta también repentinamente. Entonces, la fuerza centrífuga de los pesos excede la fuerza de la palanca de regulación lo que hace que el manguito del regulador y el asiento del muelle se desplacen hacia la derecha. Entonces, la palanca flotante —que pivotea en el punto B— mueve la barra reguladora de cremallera en el sentido de la “disminución de combustible” y de este modo evita que el motor exceda el régimen máximo especificado.

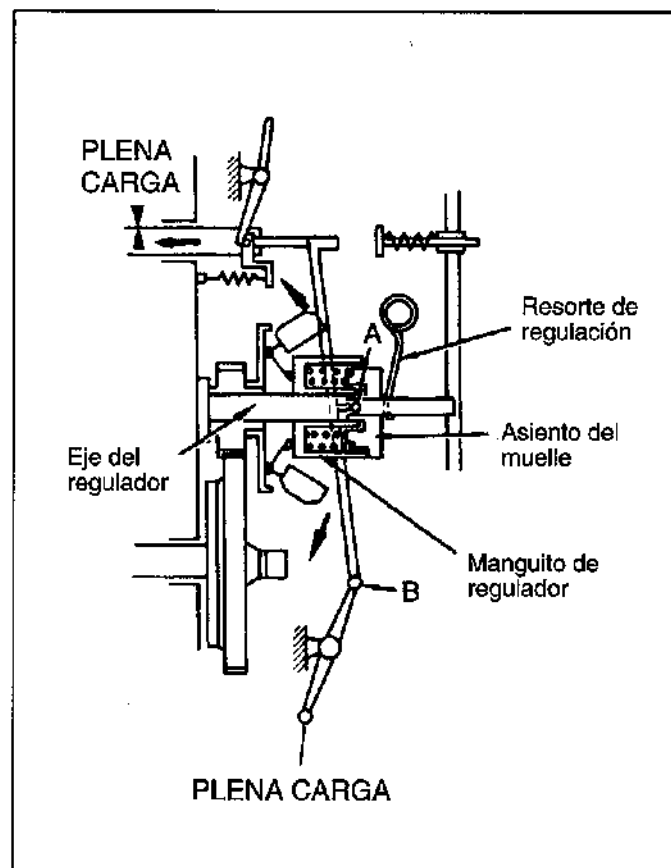


Figura 4-8 Regímenes intermedios

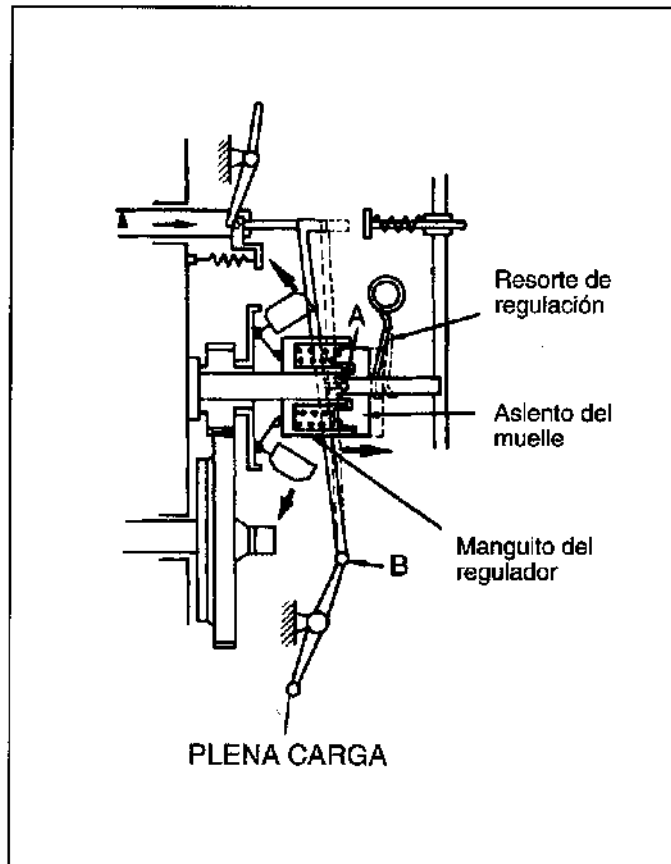


Figura 4-9 Régimen máximo

e. Resorte de seguridad

Normalmente, cuando un vehículo es conducido pendiente abajo, el conductor cambia la transmisión hacia una marcha inferior y suelta el pedal del acelerador, aplicando entonces el freno del motor para evitar el exceso de velocidad del vehículo.

Sin embargo, cuando la transmisión es engranada inicialmente en un engranaje de marcha inferior, el vehículo tiende a aumentar su velocidad lo que causa que el régimen del motor aumente excesivamente. Este incremento de la velocidad del motor genera una considerable fuerza centrífuga en los pesos y hace que la barra reguladora de cremallera comprima completamente el resorte amortiguador. En este estado, la palanca flotante está bloqueada en sus dos extremos, inferior y superior. Si la considerable fuerza centrífuga es aplicada directamente a la palanca flotante, causará perjuicios tanto a la cremallera de regulación como a la palanca flotante. Para prevenir tal estado de cosas, el resorte de seguridad se comprime para así absorber el exceso de fuerza, en la forma mostrada en la figura 4-10.

f. Paro del motor

Cuando la palanca de ajuste está colocada en la posición de régimen de marcha lenta o ralentí, si la palanca de paro es girada en el sentido indicado por la flecha —como es mostrado en la figura 4-11— el brazo de la palanca de paro vence la tensión del resorte de amortiguación y mueve la barra reguladora de cremallera en el sentido de la “disminución de combustible”. Entretanto, la palanca flotante empuja hacia atrás el manguito del regulador hasta que entre en contacto con el asiento del muelle.

Consecuentemente entonces, para parar el motor, el conductor debe hacer que la palanca de paro comprima el resorte de amortiguación y los resortes interior y exterior y que el resorte de arranque se expanda. Como resultado de esto, la cremallera de regulación se mueve y pasa de la posición de régimen de ralentí a la posición de corte de combustible.

Si el motor no está en régimen de marcha lenta, el giro de la palanca de paro no hará que el motor se pare. Si el régimen del motor es superior al régimen de ralentí, el manguito del regulador está en contacto con el asiento de resorte. La fuerza del resorte de regulación comprime el asiento del muelle y lo mantiene firmemente contra la porción con escalones del eje del regulador. En este estado, el punto A de la palanca flotante está fijo y no puede moverse hacia atrás.

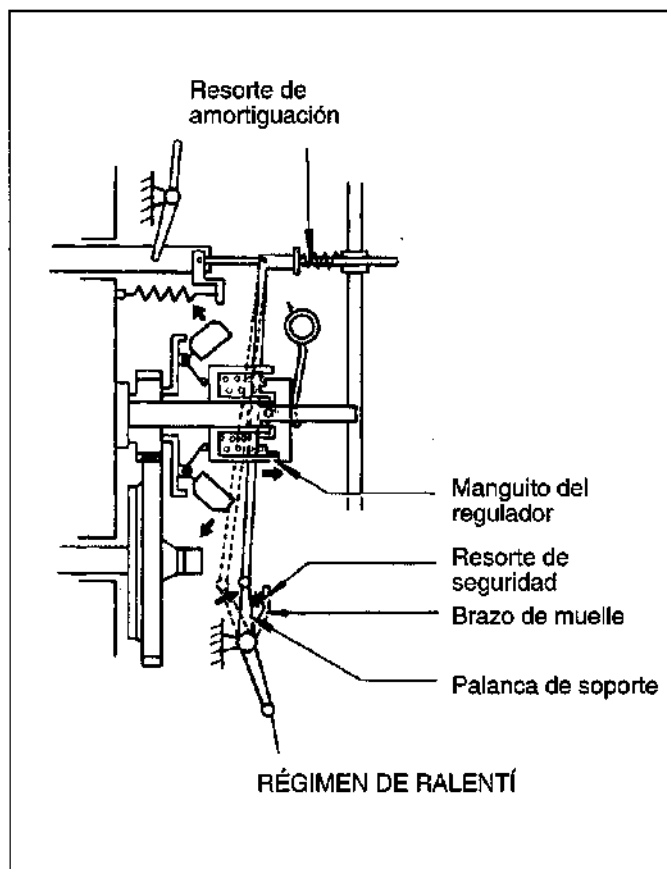


Figura 4-10 Resorte de seguridad

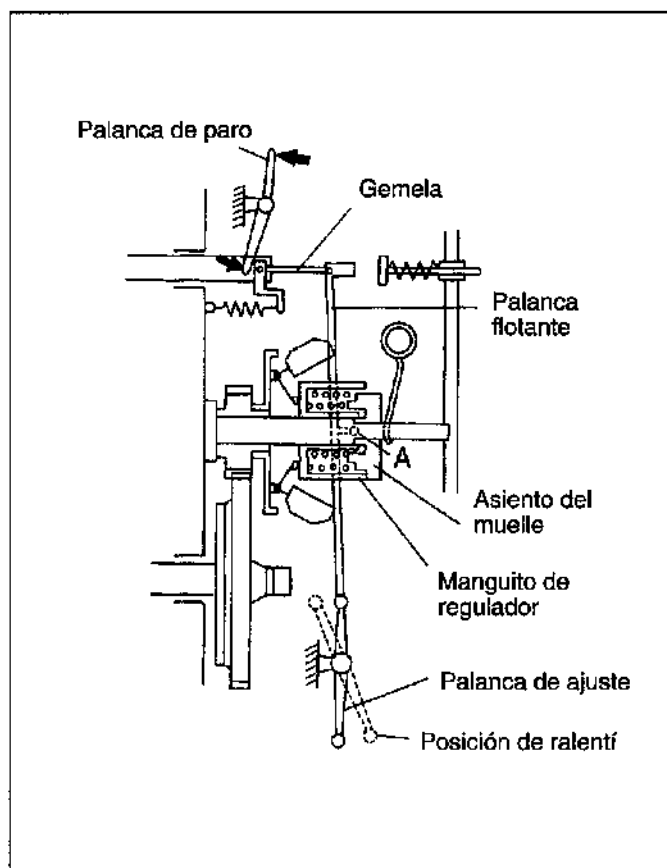


Figura 4-11 Imposibilidad de parar el motor

Si la palanca de paro es accionada violentamente, la fuerza excesiva es aplicada a la palanca flotante y a la gema y causa la deformación de estas piezas. Para prevenir esto, la palanca de paro debe ser accionada solamente cuando el motor está funcionando en régimen de ralenti.

g. Características del regulador tipo RU

La curva superior mostrada en la figura 4-12 muestra las características del regulador en condiciones de plena carga. A regímenes intermedios y plena carga, la cremallera de regulación permanece en la posición de suministro de combustible de plena carga, como lo indica la línea A-B, y hasta que el régimen de la bomba haya alcanzado el régimen máximo nominal en el punto B. Cuando el régimen de la bomba excede el régimen máximo nominal, la carrera de la cremallera de regulación disminuye repentinamente y esto evita el trabajo forzado del motor. Cuando la carga en el motor ha sido eliminada o reducida, el régimen del motor aumenta y pasa al régimen de ralenti rápido. El aumento resultante de la fuerza centrífuga hace que la barra reguladora de cremallera se desplace hasta la posición de ralenti rápido, en el punto C del gráfico correspondiente.

La curva inferior de la figura 4-12 muestra las características del regulador en condiciones de régimen de ralenti.

La línea E-F caracteriza justo el principio, cuando el resorte de arranque contrarresta la fuerza de los pesos centrífugos o masas del regulador y empuja la barra reguladora de cremallera hacia la posición de arranque con enriquecimiento de combustible.

La línea F-G indica que el régimen de la bomba aumenta hasta el régimen de ralenti especificado, cuando la fuerza combinada del resorte exterior de ralenti y del resorte de arranque contrarrestan la fuerza centrífuga de los pesos.

La línea G-H indica que, a medida de que el régimen de la bomba sigue aumentando, la fuerza combinada de los resortes exterior e interior de ralenti también contrarresta la fuerza centrífuga de los pesos, y hace que el manguito del regulador entre en contacto con el asiento del muelle o resorte.

La línea H-J indica que la carrera de la barra reguladora de cremallera no cambia.

La mayoría de los reguladores están equipados con un resorte de amortiguación para evitar que el regulador desplace la cremallera de control excesivamente en el sentido de la "disminución de combustible", cuando el régimen del motor disminuye súbitamente desde un régimen elevado. Esto es efectuado moviendo ligeramente la cremallera de control en el sentido del "aumento de combustible", como lo indica la línea de puntos.

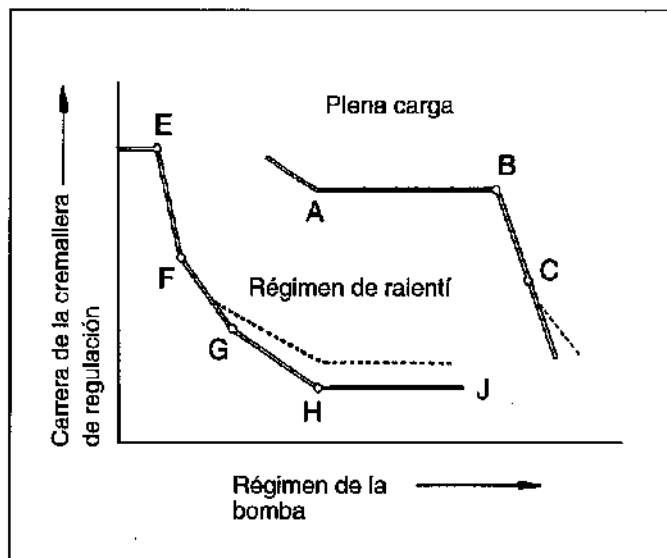


Figura 4-12 Características del regulador

h. Resorte limitador

Como es mostrado en la figura 4-13, el resorte limitador está instalado en el lado propulsor del cuerpo de bomba. El resorte limitador contribuye a evitar que el motor emita humo negro y para esto controla los aumentos de combustible suministrado a regímenes bajos y en condiciones de plena carga.

Si no hay resorte limitador, cuando el régimen de la bomba disminuye, la fuerza combinada de los resortes exterior e interior de ralentí excede la decreciente fuerza centrífuga. El resultado de esto es que la barra reguladora de cremallera se desplaza en el sentido del "aumento de combustible", como está indicado por la curva a-c-b de la figura 4-14, y el motor emitiría una cantidad excesiva de humo negro.

Como la curva a-c-d-e lo muestra, el resorte limitador limita el movimiento de la barra reguladora de cremallera cuando el régimen de la bomba baja a valores inferiores al funcionamiento de plena carga. Cuando el régimen de la bomba disminuye, la cremallera de regulación se mueve ligeramente en el sentido del "aumento de combustible" hasta que entra en contacto con la barra.

La línea c-d muestra que debido a que la fuerza de los resortes limitadores es todavía mayor que la fuerza del resorte del regulador, la cremallera de regulación mantiene una posición constante. A medida de que el régimen de la bomba sigue disminuyendo, la fuerza centrífuga disminuye también y hace que los resortes limitadores se compriman. Como resultado de esto, la barra reguladora de cremallera se desplaza en el sentido del "aumento de combustible", como es mostrado por la línea d-e.

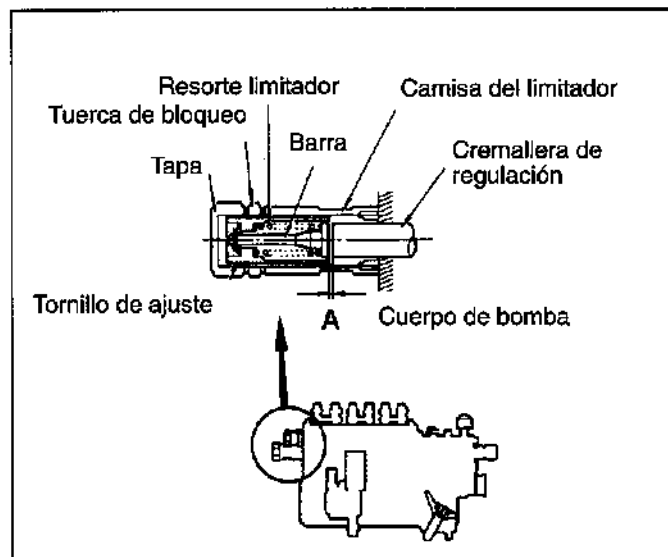


Figura 4-13 Estructura del resorte limitador

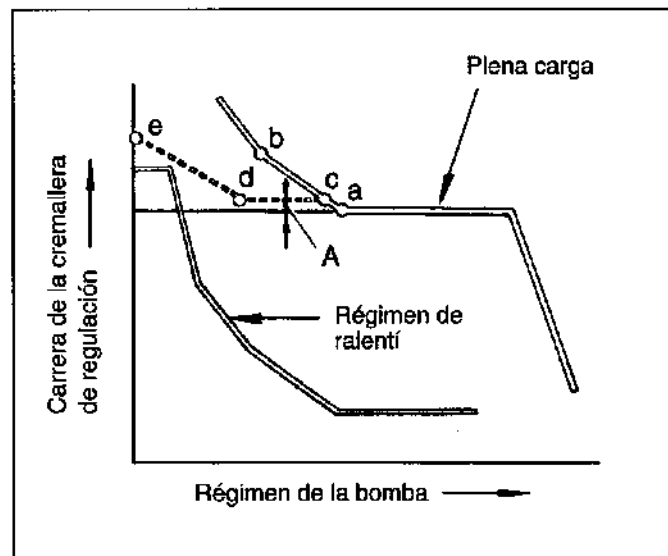


Figura 4-14 Curva de las características del regulador

i. Cápsula de resorte

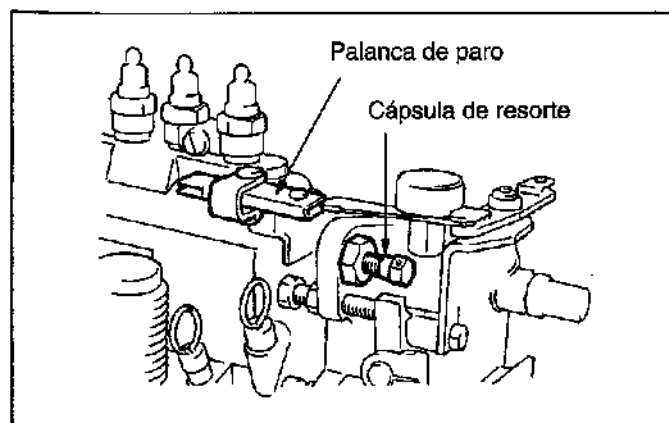


Figura 4-15 Cápsula de resorte

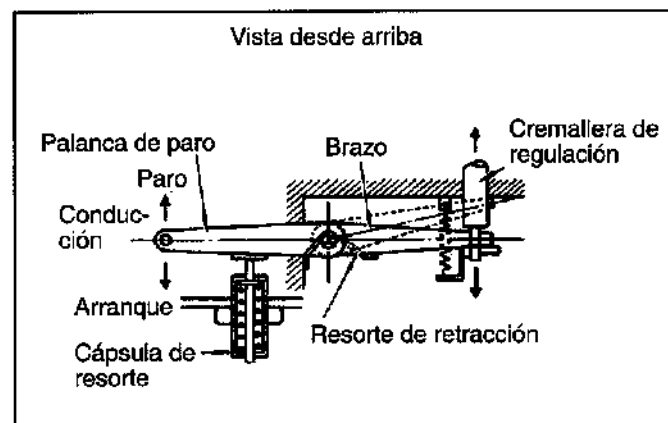


Figura 4-16 Construcción de la cápsula de resorte

Como es mostrado en la figura 4-15, la cápsula de resorte está colocada en la parte superior del regulador y está en contacto con la palanca de paro. La función de la cápsula de resorte es evitar que el motor emita humo negro y para esto regula el aumento de combustible durante las velocidades bajas y condiciones de plena carga.

Sin la cápsula de resorte, el resorte de retracción hace que el brazo colocado en el vástago de la palanca de paro se retraiga completamente contra la superficie del cuerpo del regulador, como lo muestra la línea de puntos de la figura 4-16.

Como mostrado por la línea c-b de la figura 4-17, la carrera de la cremallera de regulación aumenta a medida de que el régimen de la bomba disminuye en condiciones de plena carga, y esto es causa de que el motor emita una cantidad excesiva de humo negro.

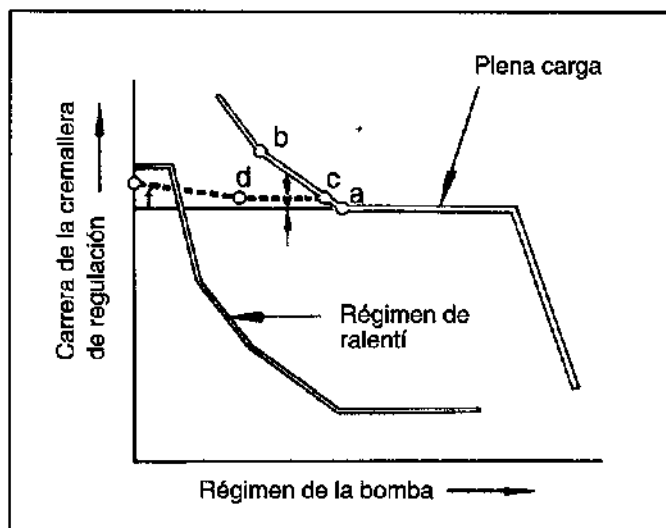


Figura 4-17 Curva de las características del regulador

La cápsula de resorte limita el movimiento de la cremallera de regulación cuando el régimen de la bomba disminuye en condiciones de plena carga, como es mostrado por la línea c-d-f.

La línea c-d muestra que la cremallera de regulación permanece en una posición constante debido a que las fuerzas combinadas del resorte interior de la cápsula y de la fuerza centrífuga de los pesos es mayor que la fuerza combinada de los resortes de arranque, régimen de ralentí, y de retracción.

Sin embargo, cuando el régimen de la bomba desciende aún más, la fuerza centrífuga de los pesos también decrece, y esto impide que la fuerza combinada de los resortes exceda la fuerza del resorte interior de la cápsula. Entonces, tal como lo muestra la línea d-f, el resorte interior de la cápsula se comprime y esto es causa de que la cremallera de regulación se desplace ligeramente en el sentido de la "disminución de combustible".

4-5. REGULADOR TIPO R721

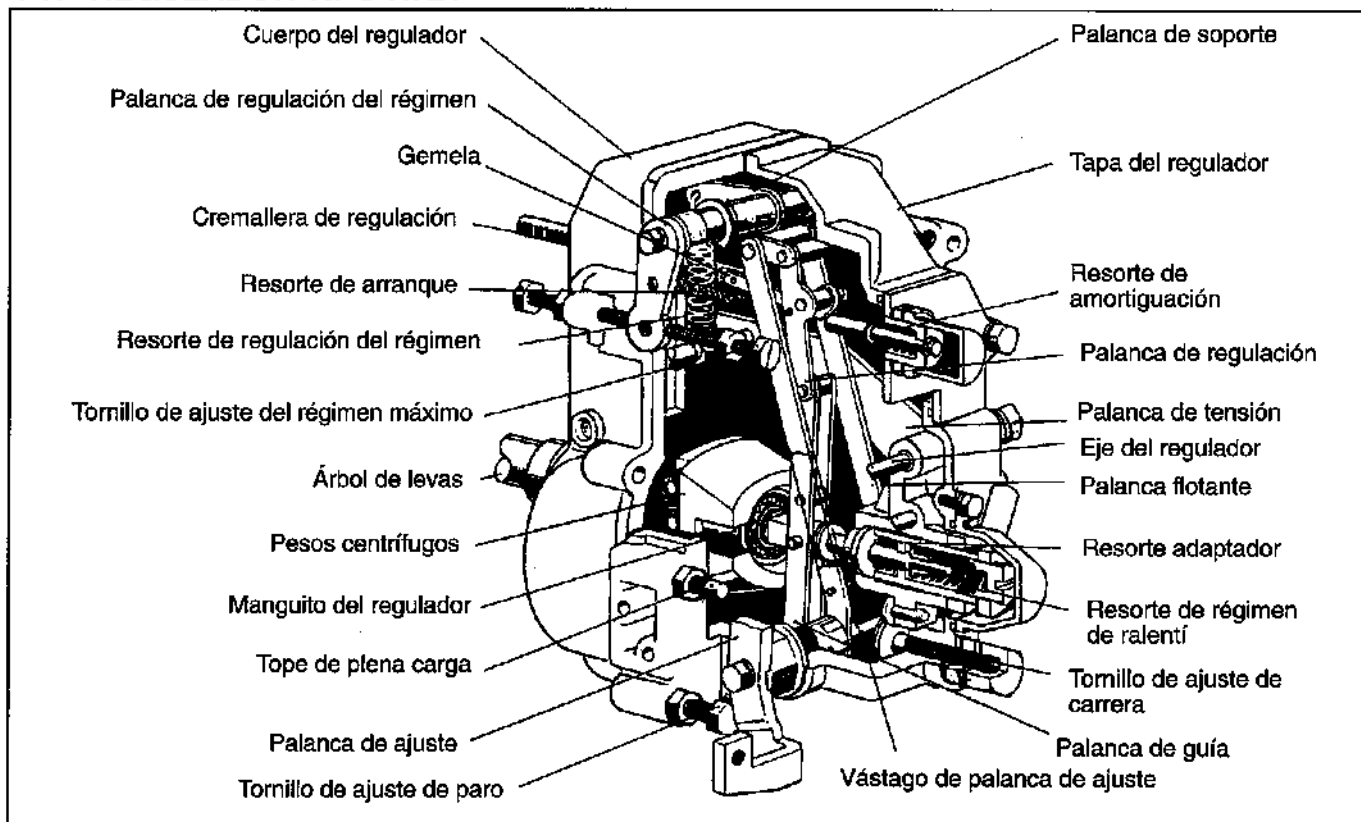


Figura 4-18 Construcción del regulador tipo R721

(1) Pesos centrífugos y árbol de levas

Como es mostrado en la figura 4-19, el conjunto de pesos centrífugos o masas que forma parte de los componentes giratorios del regulador está instalado sobre el árbol de levas de la bomba de inyección. En el casquillo del árbol de levas están montados dos pesos, cada uno de los cuales está fijado al árbol de levas mediante una claveta y una tuerca redonda. Cada uno de los dos pesos centrífugos gira alrededor de su eje de soporte. Cuando los pesos centrífugos al girar se abren hacia afuera, los rodillos que están fijados a los extremos de los pesos empujan hacia la derecha el reborde del manguito del regulador.

El manguito del regulador, que se desliza sobre la superficie saliente del casquillo del árbol de levas gira conjuntamente con el casquillo. El manguito del regulador está conectado al bloque de regulación, el que está fijado mediante un cojinete al centro de la palanca de guía. El bloque de regulación puede moverse axialmente solamente hacia atrás y hacia adelante a lo largo del árbol de levas.

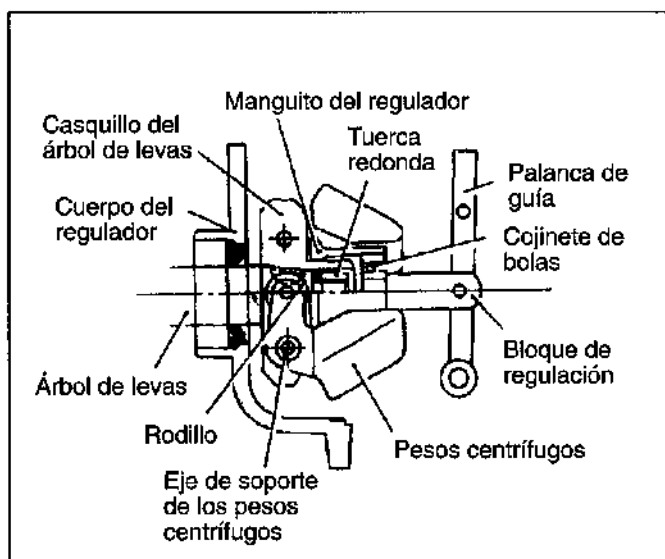


Figura 4-19 Construcción de los pesos centrífugos

(2) Palancas y resortes (Figura 4-18)

La palanca de guía, que está fijada en su extremo inferior al cuerpo —mediante el eje de soporte— se desplaza de un lado a otro pivotando en el eje de soporte.

El extremo superior de la palanca de guía está conectado a la palanca de regulación, y la palanca de regulación está conectada a la barra reguladora de cremallera mediante la gemela.

El extremo superior de la palanca flotante está conectado a la palanca de regulación, y el extremo inferior de la palanca flotante está conectado a la palanca de ajuste mediante el vástago de la palanca de ajuste. El funcionamiento de la palanca de ajuste acciona la palanca flotante.

Entretanto, la palanca de tensión está fijada por el eje del regulador al cuerpo del regulador. Un resorte de regulación de régimen —cuya fuerza es considerable— está fijado a la punta de la palanca de tensión y a la palanca de soporte situada encima. La tensión del muelle de regulación de régimen está determinada por la palanca de regulación de régimen, la que está fijada al eje de la palanca de soporte. Consiguientemente, en el intervalo del régimen de funcionamiento, el extremo inferior de la palanca o varilla de tensión está siempre en contacto con el tornillo de ajuste de carrera.

El muelle o resorte de arranque está enganchado por uno de sus extremos al orificio central de la palanca de regulación y su otro extremo está fijado al cuerpo del regulador. Este resorte aplica una fuerza constante para mover la palanca de regulación hacia la unidad de bomba.

El resorte de marcha lenta para la regulación de regímenes bajos está conectado al extremo inferior de la varilla o palanca de tensión.

La construcción que se acaba de describir permite ajustar todos los regímenes del motor mediante la variación del ángulo de la palanca de regulación, lo que modifica la tensión ejercida por el resorte del regulador.

El regulador puede adaptarse y funcionar como un regulador de máxima-mínima velocidad mediante la fijación de la palanca de regulación de régimen al régimen máximo del motor y accionando la palanca o varilla de ajuste mediante el pedal del acelerador. También puede funcionar como un regulador para todos los regímenes del motor mediante la fijación de la palanca de ajuste en su posición de plena carga y accionando la palanca de regulación de régimen del motor.

(3) Funcionamiento

a. Arranque del motor

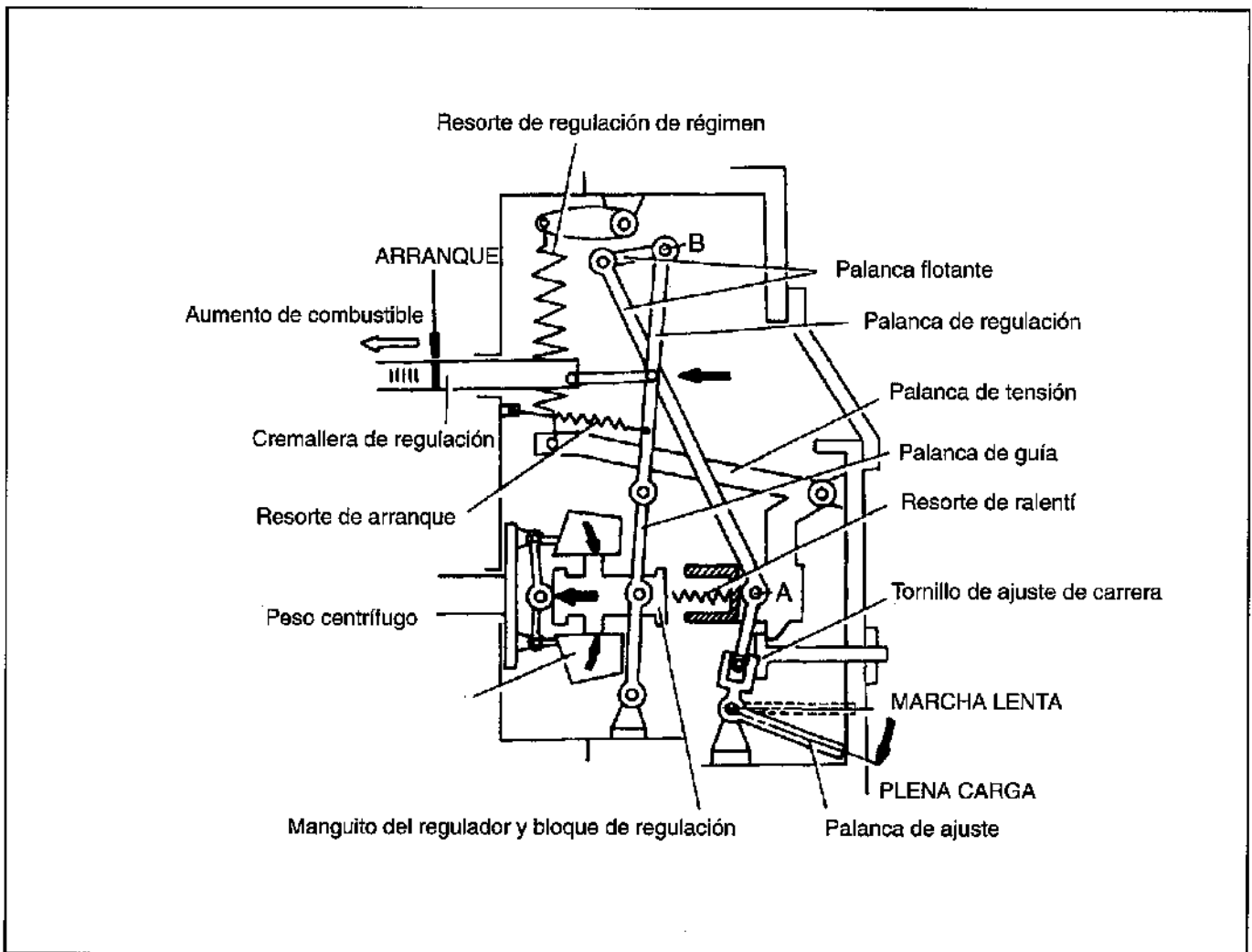


Figura 4-20 Condición de arranque

Cuando el motor está parado, los pesos centrífugos o masas del regulador están en su posición de reposo. Cuando el conductor aprieta el pedal del acelerador, la palanca o varilla de ajuste del regulador se mueve a la posición de plena carga, y la palanca flotante gira a la izquierda pivoteando en el punto A, como es mostrado en la figura 4-20. Debido a que el resorte de arranque aplica una fuerza constante para mover la palanca de regulación hacia la izquierda, esta fuerza empuja la barra reguladora de cremallera a la posición de arranque del motor. Por consiguiente, para ayudar a que el motor arranque fácilmente, un volumen suficiente de combustible es inyectado durante el arranque.

NOTA: La figura 4 -20 es un diagrama esquemático para explicar el funcionamiento del mecanismo y no muestra, necesariamente, cómo es el mecanismo en la realidad.

b. Regulación del régimen de ralentí

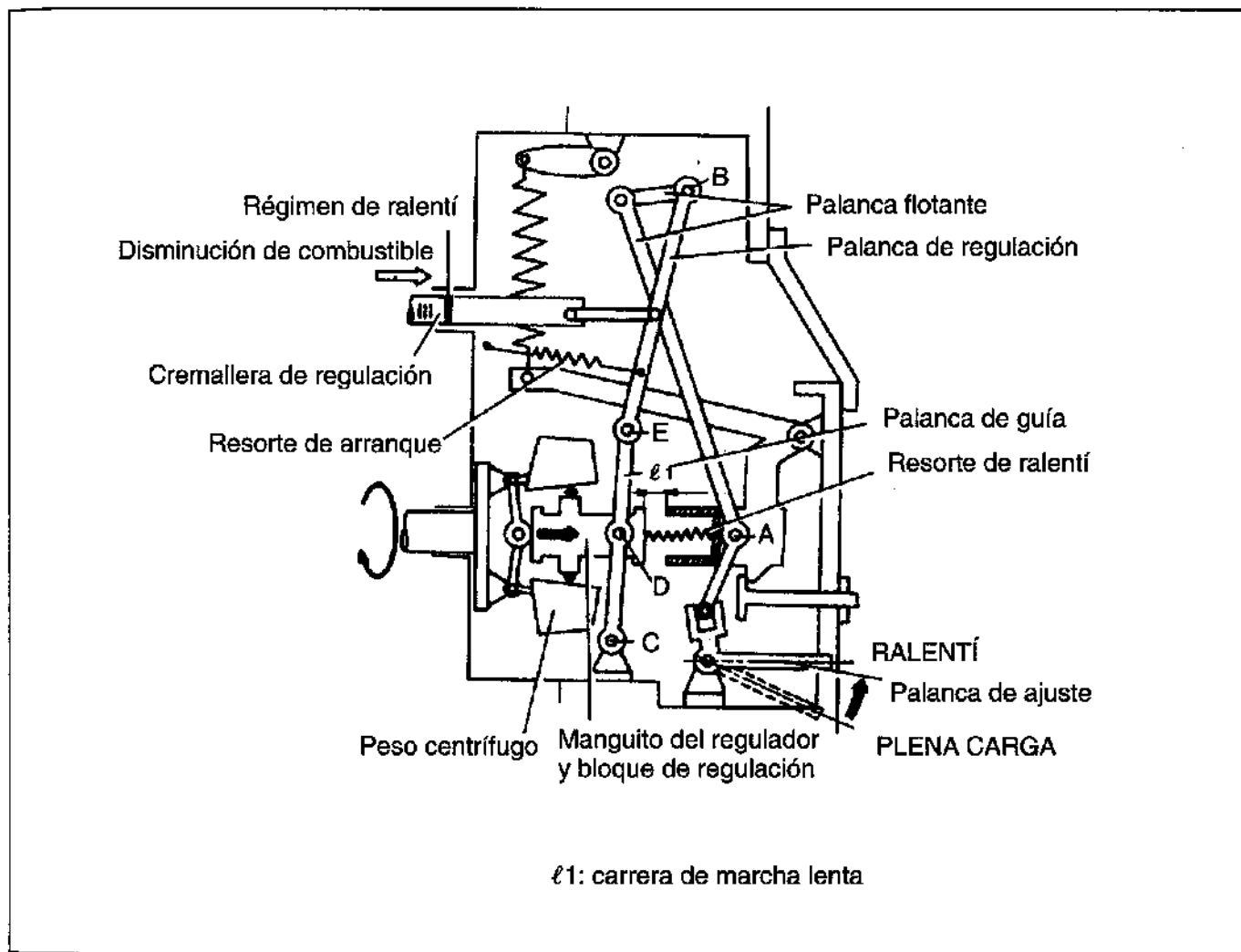


Figura 4-21 Condición de marcha lenta

Cuando el motor arranca y el conductor suelta el pedal del acelerador, la palanca de ajuste vuelve a la posición de marcha lenta o ralentí. Entonces, la palanca flotante, que pivotea en el punto A, gira a la derecha haciendo que la barra reguladora de cremallera se mueva en el sentido de la "disminución de combustible". En este momento, el conjunto de pesos centrífugos está girando a baja velocidad y la pequeña fuerza centrífuga generada por los pesos o masas equilibra la fuerza combinada de los resortes de arranque y de marcha lenta, lo que contribuye a la regulación fácil del régimen de ralentí.

Si la velocidad de giro del motor excede el régimen de ralentí especificado, los pesos centrífugos se abren más y de este modo el manguito del regulador y el bloque de regulación se mueven hacia la derecha. Entonces, la palanca de guía —que pivotea en el punto C— gira hacia la derecha y hace que el punto E (extremo inferior de la palanca flotante) se desplace hacia la derecha. Este movimiento hace que la palanca de regulación —que pivotea en el punto B (la palanca flotante está fijada)— gire hacia la izquierda y mueva la cremallera de regulación en el sentido de la "disminución de combustible". El resultado de esto es que el régimen del motor baja y así se mantiene el régimen de marcha lenta especificado.

Inversamente, cuando el régimen del motor disminuye y llega a ser inferior al régimen de marcha lenta especificado, los pesos se cierran hacia el interior. Esto tiene como resultado la inversión de las operaciones precedentes lo que hace que la cremallera de regulación se desplace en el sentido del "aumento de combustible" para así mantener el régimen del motor a la velocidad de giro especificada.

■ Relación de palanca durante el régimen de ralentí

Durante el régimen de marcha lenta, la distancia que recorre el punto E relativa al punto D del movimiento de los pesos centrífugos puede ser expresada por la fórmula siguiente, referida al triángulo CEE': $\frac{(a+b)}{a}$

La distancia recorrida por la cremallera de regulación (debido a la fuerza centrífuga generada por el conjunto de pesos centrífugos) referida al punto E puede ser expresada por la fórmula siguiente, referida al triángulo BEE': $\frac{b}{(c+d)}$

Por consiguiente, la distancia recorrida por la cremallera de regulación referida al movimiento del conjunto de pesos centrífugos, puede ser calculada mediante la fórmula siguiente: $\frac{(a+b)}{a} \times \frac{d}{(c+d)}$

Empleando cifras reales, este cálculo da una relación de palanca de 0,9. Así entonces, reduciendo la relación de palanca durante la regulación de marcha lenta, el regulador puede mover la cremallera de regulación incluso con una pequeña fuerza centrífuga, y esto permite que el funcionamiento del motor durante el régimen de baja velocidad de giro sea estable.

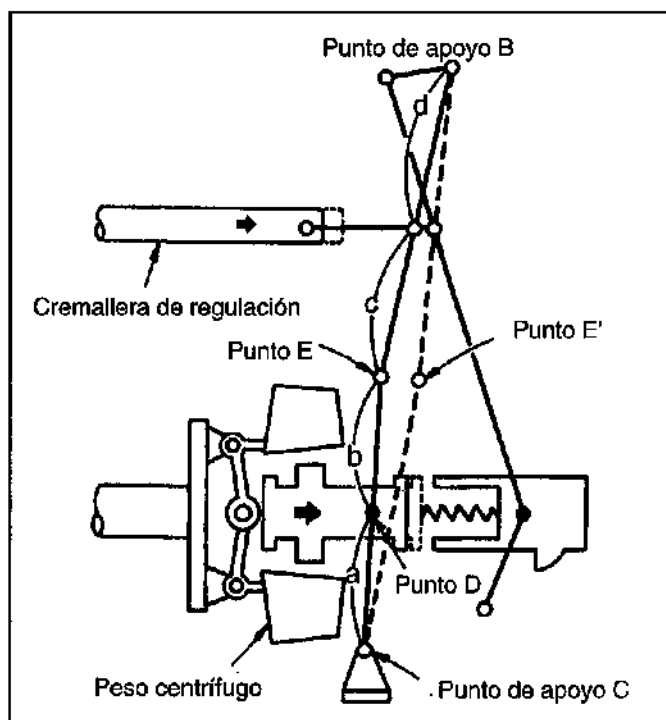


Figura 4-22 Diagrama esquemático para la relación de palanca

■ Funcionamiento del resorte de marcha lenta

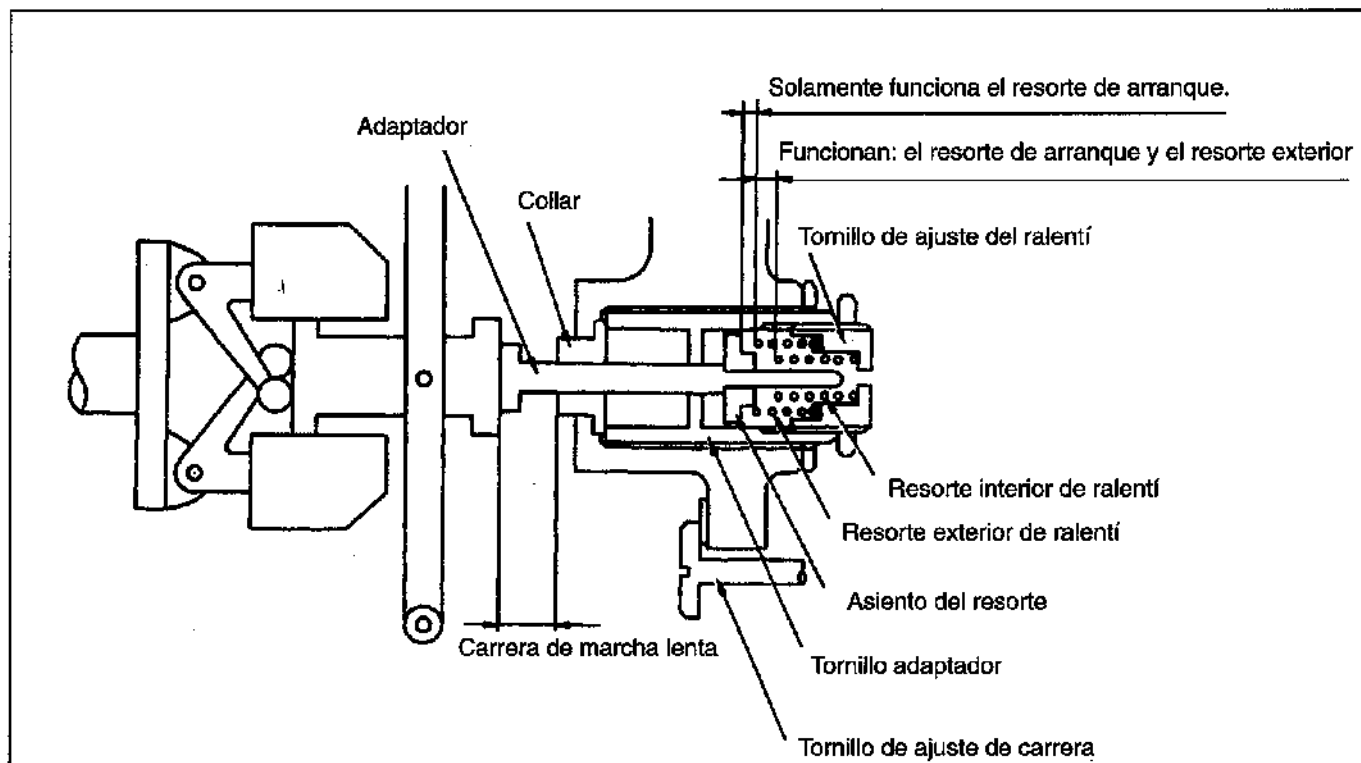


Figura 4-23 Funcionamiento de los resortes del régimen de ralentí

Esta sección describe, detalladamente, el funcionamiento del resorte de régimen de ralentí. Como es mostrado en la figura 4-23, los resortes de régimen de marcha lenta están instalados en la palanca de tensión. Hay dos resortes de régimen de ralentí: un resorte interior y otro exterior. A medida de que el régimen de velocidad de la bomba aumenta, la tensión es aplicada en primer lugar por el resorte exterior y, luego, por el resorte interior. La figura 4-24 muestra un gráfico de la curva de las características de la cremallera de regulación e ilustra el funcionamiento de los resortes del régimen de ralentí.

Como lo ilustra el diagrama, el papel del muelle o resorte exterior de régimen de ralentí es estabilizar el régimen del motor en el régimen de ralentí especificado. Mientras tanto, el muelle interior de ralentí empuja la cremallera de regulación en el sentido del "aumento de combustible" para así mejorar la aceleración en el intervalo de regímenes bajos.

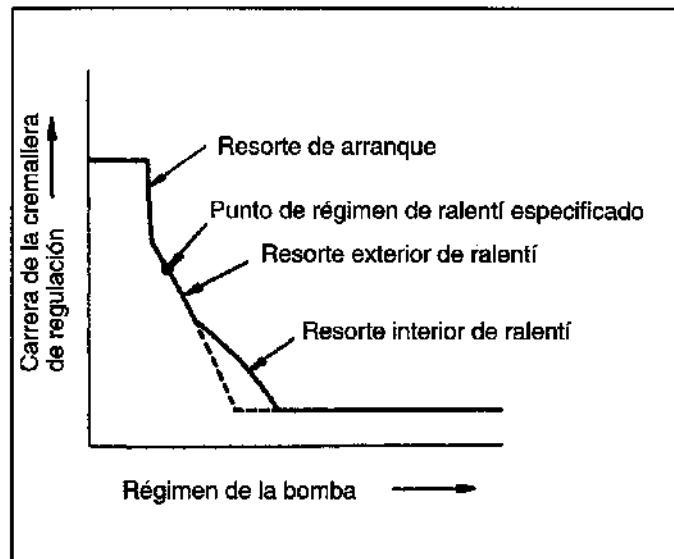


Figura 4-24 Características del régimen de ralentí

C. Regulación de regímenes intermedios de velocidad en condiciones de plena carga

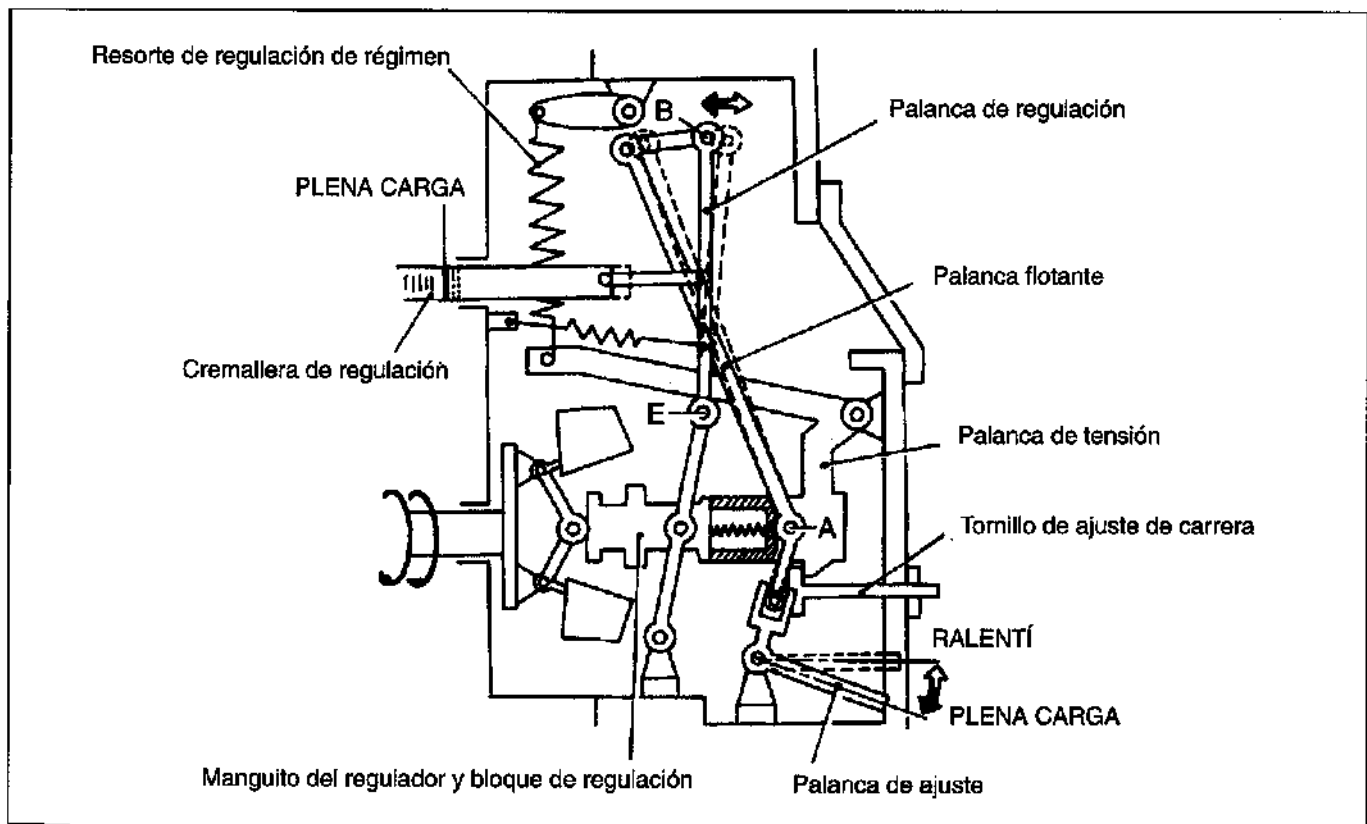


Figura 4-25 Diagrama esquemático del régimen normal del motor

Cuando el conductor aprieta el pedal del acelerador, la palanca de ajuste se mueve y pasa de la posición de régimen de ralentí a la posición de plena carga. Esto hace que la palanca flotante —que pivotea en el punto A— gire a la izquierda para desplazar la cremallera de regulación en el sentido de “aumento de combustible”. Como resultado, el régimen del motor aumenta. Entonces, a medida de que la fuerza centrífuga aumenta, el conjunto de pesos centrífugos comprime los resortes de régimen de ralentí y mueve el manguito del regulador y el bloque de regulación hacia la derecha. Después de que los resortes están completamente comprimidos, el bloque de regulación entra en contacto directo con el extremo inferior de la palanca de tensión.

Mientras tanto, la palanca de tensión es llevada contra el tornillo de ajuste de carrera por la fuerte acción del resorte de regulación. Así entonces, el bloque de regulación permanece estacionario debido a que la palanca de tensión no puede moverse hasta que la fuerza centrífuga generada por los pesos sea mayor que la fuerza del resorte de regulación.

En estas condiciones, el funcionamiento de la palanca de ajuste hace que la palanca flotante pivotee en el punto A, lo que a su vez es causa de que la palanca de regulación pivotee en el punto E y que la cremallera de regulación se desplace. Por consiguiente, el conductor puede regular directamente el volumen de la inyección mediante el accionamiento del pedal del acelerador ya que el regulador no se encarga de la regulación en el intervalo de los regímenes intermedios de velocidad del motor.

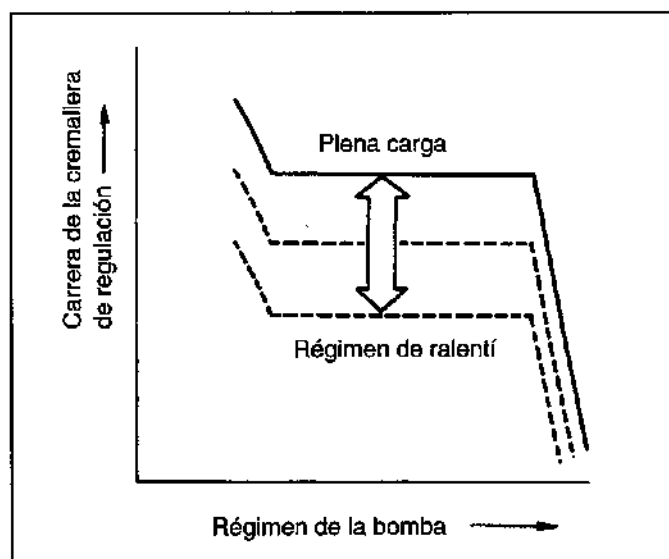


Figura 4-26 Posiciones de la cremallera de regulación con la palanca de ajuste

d. Regulación del régimen máximo del motor

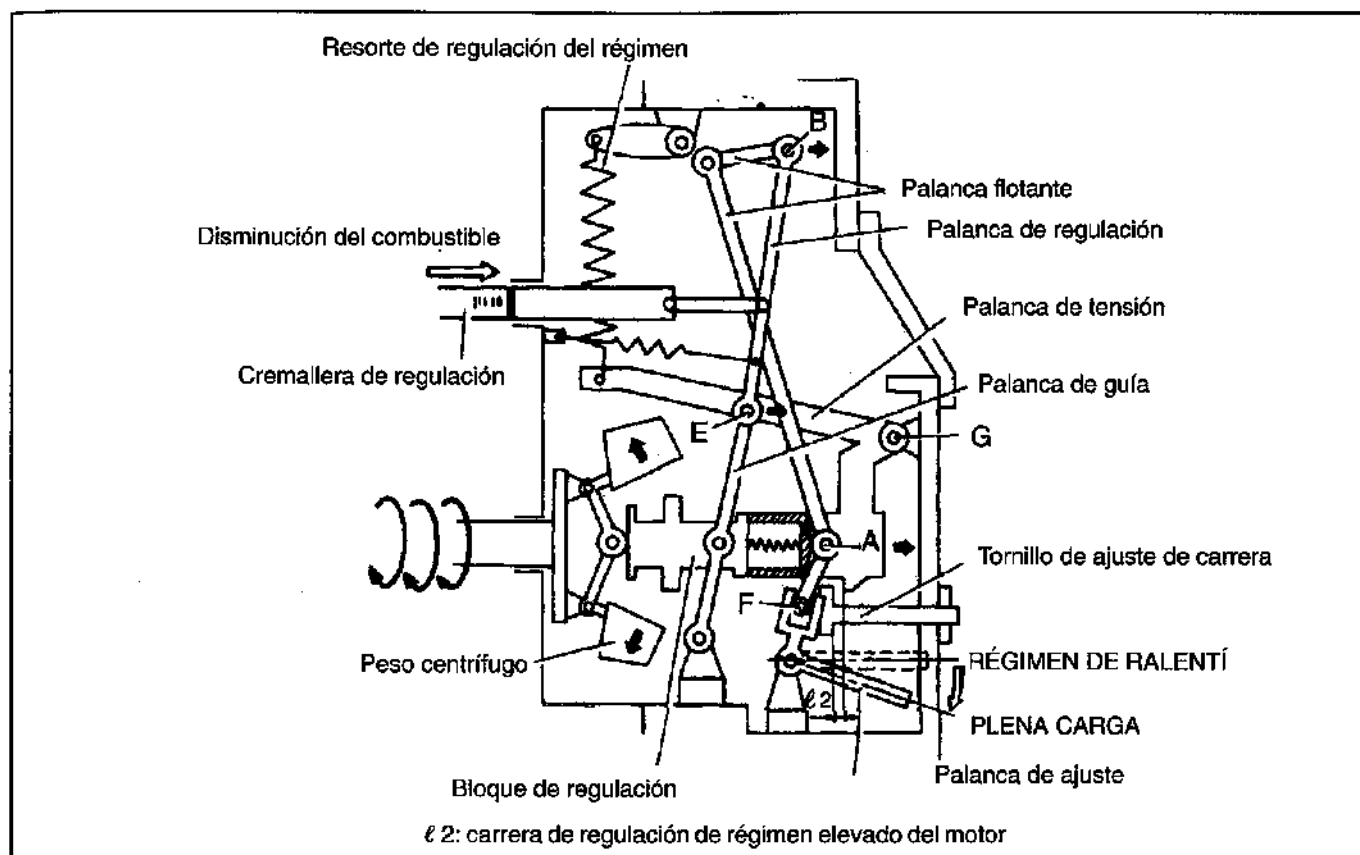


Figura 4-27 Funcionamiento a régimen elevado

Cuando la velocidad del motor sobrepasa el régimen máximo especificado, la fuerza centrífuga generada por los pesos excede la tensión del resorte de regulación que es aplicada a la palanca de tensión y mueve hacia la derecha el extremo inferior de la palanca de tensión. Entonces, debido a que el punto A de la palanca flotante —que pivotea en el punto F (fijo)— se desplaza hacia la derecha, el punto B de la palanca flotante se mueve considerablemente hacia la derecha. Por otra parte, el punto E también se desplaza hacia la derecha y toda la palanca de regulación se desplaza hacia la derecha y mueve la cremallera de regulación en el sentido de la "disminución de combustible". Como resultado de esto, el régimen del motor es mantenido dentro del régimen máximo especificado. La velocidad de giro del motor a la que la cremallera de regulación comienza a desplazarse permanece constante, independientemente de la posición de la palanca de ajuste.

La relación de palanca durante la regulación de régimen máximo de velocidad del motor llega a 1:6,4. Esto significa que cualquier movimiento del bloque de regulación es multiplicado 6,4 veces en la cremallera de regulación, y esto produce el mejoramiento de la regulación del régimen de velocidad máxima del motor.

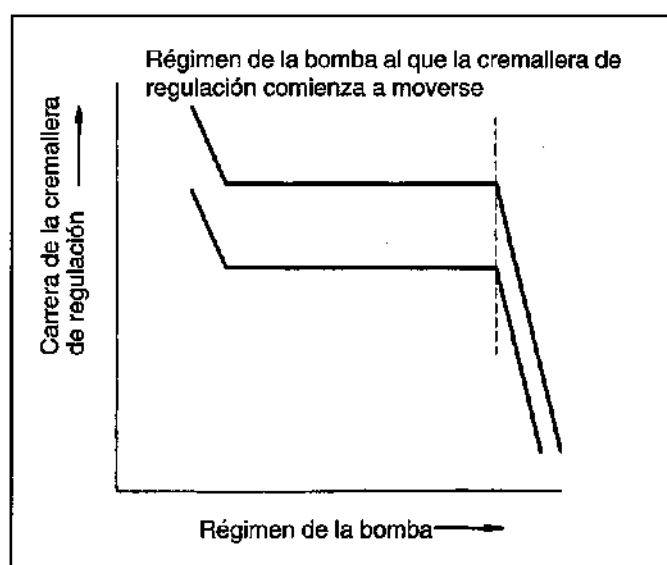


Figura 4-28 Características de la cremallera de regulación en régimen máximo

e. Carrera de los pesos

La figura 4-29 muestra la relación que hay entre la carrera de los pesos o masas del regulador y la velocidad de giro de la bomba. Se denomina "carrera de los pesos" la distancia axial recorrida durante el movimiento del manguito del regulador y el bloque de regulación y debido a la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación de los pesos. La carrera de los pesos aumenta continuamente en proporción a la velocidad de rotación de la bomba. La velocidad de rotación comprendida entre 0 y N_1 produce una carrera de longitud L_1 , denominada "carrera de régimen de ralentí". La carrera de los pesos de una bomba que gira en el intervalo N_2 y N_3 se denomina "carrera de regulación de alta velocidad". La suma de las carreras de regulación de los regímenes de ralentí y de alta velocidad se denomina "carrera total".

La figura 4-30 muestra la relación que hay entre la carrera de los pesos y la posición de la cremallera de regulación. El movimiento de la barra reguladora de cremallera en el área A es debido a la carrera de régimen de ralentí y está expresado por la fórmula siguiente:

Posición de la cremallera de regulación:

$R_2 - R_1 =$ carrera de régimen de ralentí:

$L_1 \times$ relación de palanca : 0,9

El movimiento de la barra reguladora de cremallera en el área B es debido a la carrera de regulación de alta velocidad. Como es mostrado en la figura 4-29, en el intervalo medio entre A y B, la cremallera de regulación no se mueve incluso cuando aumenta la velocidad de rotación de la bomba. Esta es un área en la que los pesos centrífugos no están activos, lo que corresponde a la parte no regulada indicada por la línea horizontal en la figura 4-29.

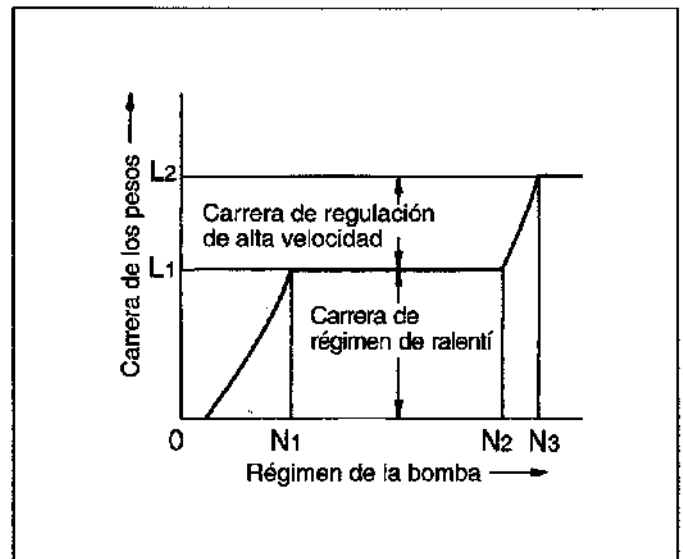


Figura 4-29 Carrera de los pesos

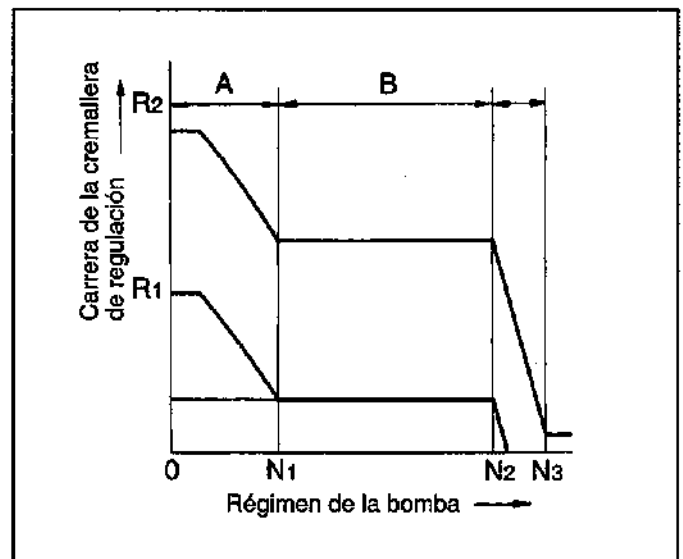


Figura 4-30 Características de la cremallera de regulación

f. Curvas de características

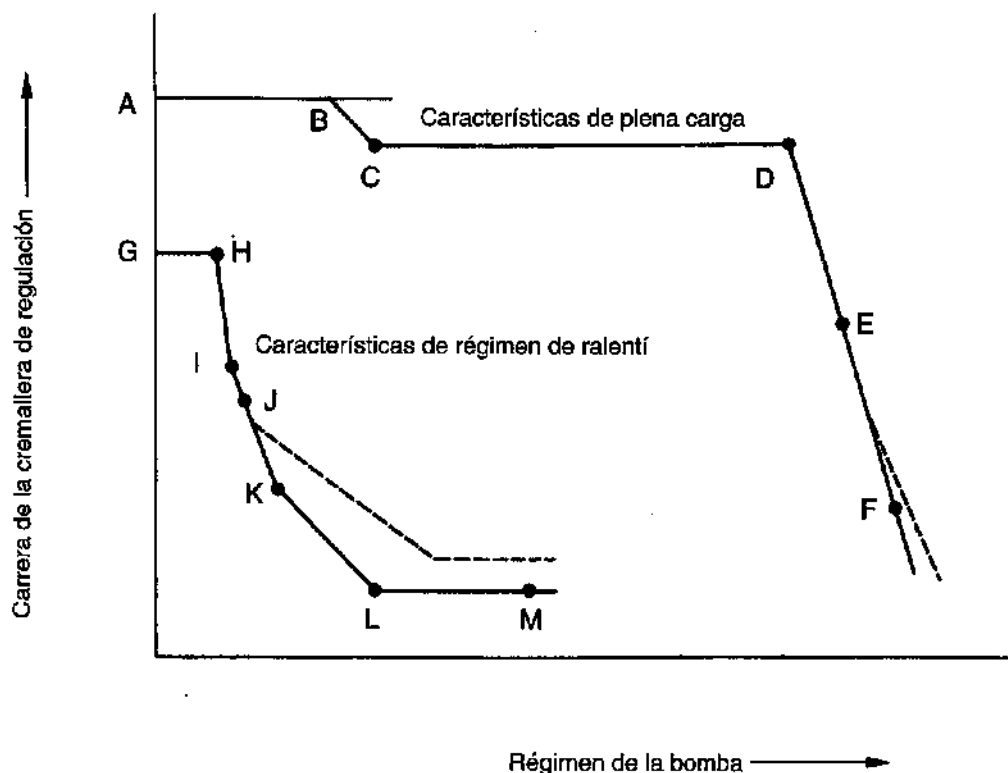


Figura 4-31 Características del regulador R721

La figura 4-31 muestra las curvas de las características que representan la relación entre la magnitud de la carrera de la cremallera de regulación y el régimen de rotación de la bomba.

Las curvas de las características están generalmente representadas por las dos curvas siguientes:

La curva de las características de plena carga, tal como la línea A-F, que presenta las características de la cremallera de regulación en la posición donde la palanca de ajuste entra en contacto con el tope de plena carga.

La curva de las características del régimen de ralentí, tal como la curva G-M, que presenta las características de la cremallera de regulación cuando la palanca de ajuste es colocada en la posición de régimen de ralentí.

Primeramente, se presentan a continuación las características de plena carga.

La línea A-B muestra la posición de la cremallera de regulación cuando el motor arranca. Aunque aquí puede parecer que la cremallera de regulación efectúa un desplazamiento considerable, la tapa de la cremallera de regulación instalada en la bomba determina la carrera máxima de la cremallera para así evitar que el motor emita humo.

La línea B-C muestra que la velocidad de rotación de la bomba es insuficiente para que el bloque de regulación exceda la tensión ejercida por el resorte interno de régimen de marcha lenta. La línea C-D muestra el estado comprimido del resorte interior de régimen de marcha en vacío, y el bloque de regulación en contacto directo con la palanca de tensión, lo que impide el movimiento de la cremallera de regulación incluso cuando la velocidad aumenta. En este momento, la posición de la cremallera de regulación, que desempeña un papel importante en la determinación de la potencia de salida del motor, es regulada por el tope de plena carga.

El punto D es el punto donde la regulación de alta velocidad empieza a surtir efecto. En este momento la velocidad de rotación de la bomba se denomina régimen máximo de plena carga. El punto E muestra la posición de la cremallera de regulación en la que el motor puede funcionar en el estado de carga nula, sin carga. La velocidad de rotación de la bomba, en este momento, se denomina régimen máximo sin carga. El punto F muestra que la cremallera de regulación está en una posición en la cual no se suministra nada de combustible.

En segundo lugar, se presentan las características del régimen de ralentí.

La línea G-H-I muestra el estado en el que la bomba gira a un régimen extremadamente bajo, en el que sólo la fuerza del resorte o muelle de arranque interviene para mover la cremallera de regulación.

La línea I-J-K muestra el estado en el que está activo el resorte exterior del régimen en vacío. En este estado, las acciones combinadas del resorte exterior del régimen de ralentí y el resorte de arranque están en equilibrio con la fuerza centrífuga generada por los pesos. El punto J es el punto de régimen de marcha lenta.

La línea K-L muestra el estado en el que se añade la acción del resorte interior de régimen de ralentí, y el funcionamiento de la regulación es idéntico al de las características de plena carga mostradas por la línea B-C.

La línea L-M muestra que la fuerza centrífuga generada por los pesos ha aumentado, y entonces comprime todos los resortes del régimen de marcha lenta y hace que el bloque de regulación entre en contacto con la palanca de tensión.

La línea de puntos muestra las características cuando se ha instalado un resorte de amortiguación para evitar que el motor se cale y se pare.

g. Regulador tipo R721 con resorte de adaptador

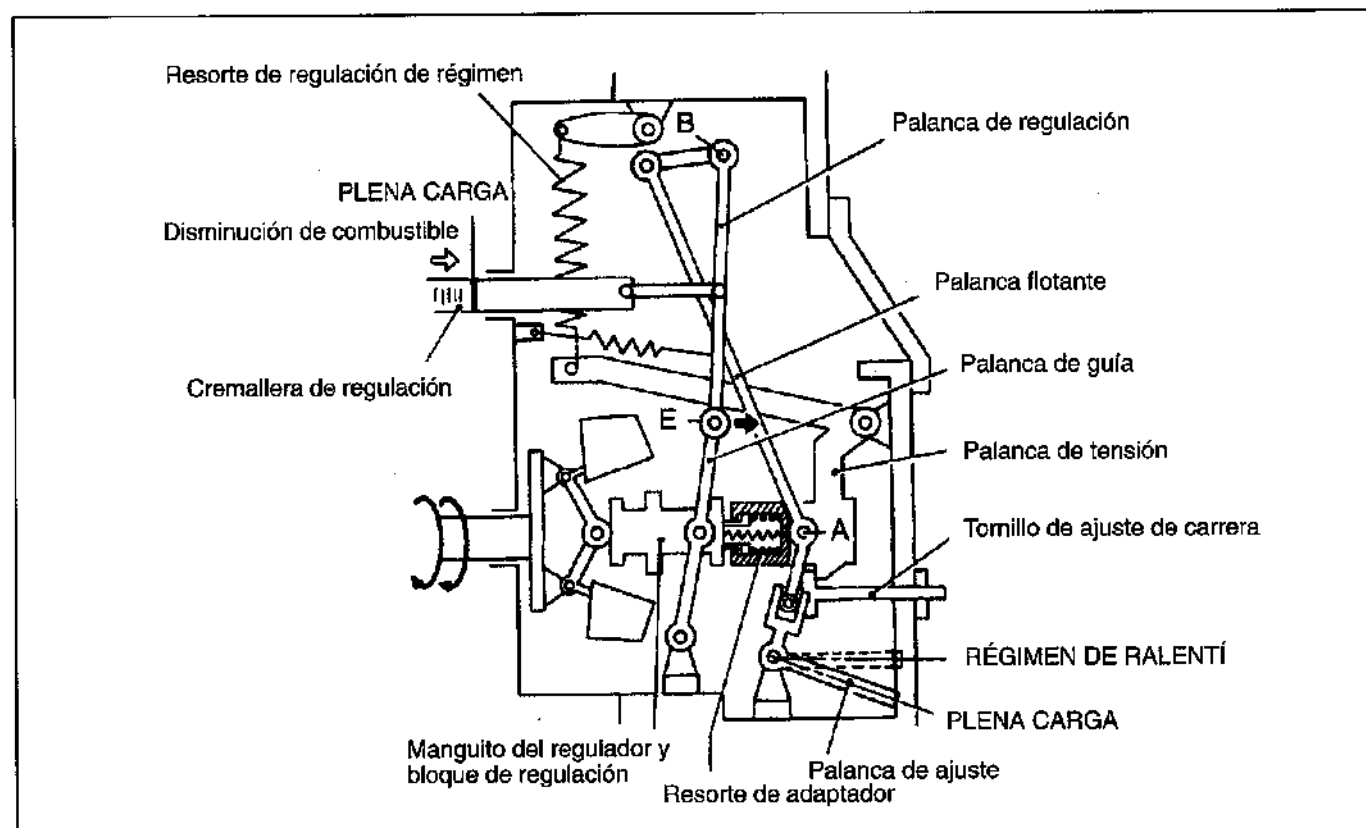


Figura 4-32 Funcionamiento del resorte de adaptador

Como es mostrado en la figura 4-33, el regulador tipo R721 puede adaptarse y funcionar como un regulador de adaptación compensadora mediante la instalación de un resorte de adaptador en el tornillo del adaptador de la palanca de tensión.

Cuando el régimen aumenta con la palanca de ajuste en la posición de plena carga, el bloque de regulación se mueve hacia la derecha. El adaptador comprime el resorte de régimen de ralentí, entra en contacto con el collar, comprime el resorte adaptador, y va causar desplazamiento más a la derecha. En efecto, este movimiento es causa de que el punto E de la palanca de guía se desplace a la derecha lo que hace que la cremallera de regulación se mueva en el sentido de la “disminución de combustible”. (Refiérase a la figura 4-32) La distancia recorrida por el adaptador se denomina carrera del adaptador o bien carrera de adaptación y es determinada por el tornillo del adaptador.

De esta manera entonces, las características del regulador se adaptan a las exigencias del motor de manera que, a regímenes bajos, el desplazamiento de la cremallera de regulación es considerablemente mayor que en el caso de los regímenes altos.

■ **Por qué las características de adaptación compensadora son necesarias**

La eficiencia de la admisión de aire de un motor disminuye a medida de que aumenta el régimen del motor. Consecuentemente, el volumen de aire que es efectivamente aspirado en la cámara de combustión tiene tendencia a disminuir.

Por el contrario, el volumen de combustible suministrado por cada carrera del émbolo de la bomba de inyección, o embolada, tiene tendencia a aumentar incluso en una posición determinada de la cremallera de regulación, como es mostrado en la figura 4-35.

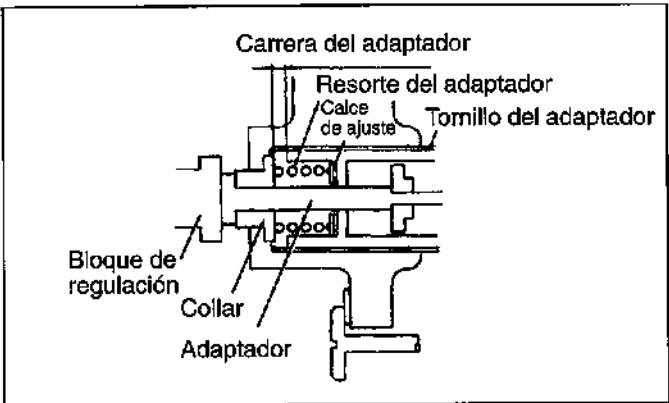


Figura 4-33 Resorte del adaptador

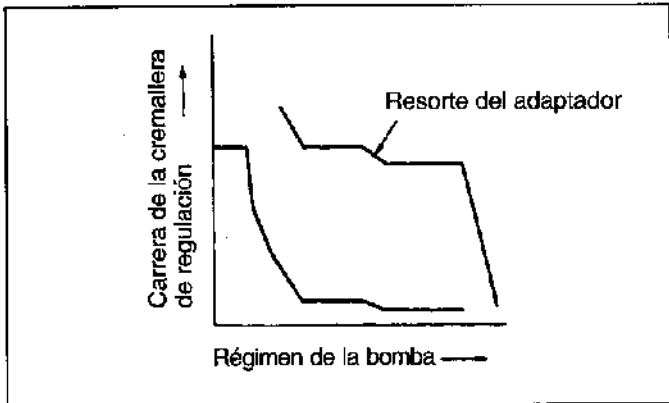


Figura 4-34

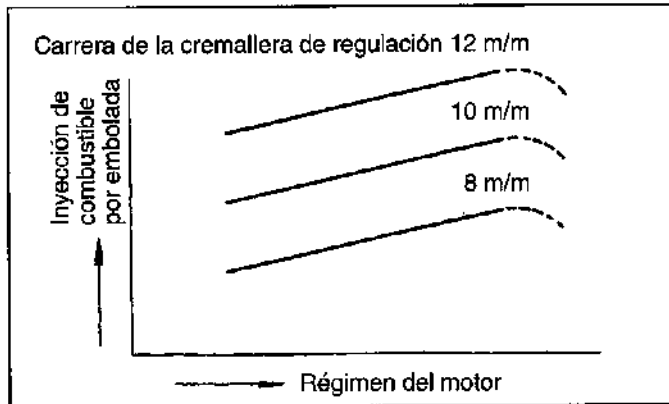


Figura 4-35 Régimen del motor e inyección de combustible

Por consiguiente, si el volumen de inyección es ajustado para adaptarse a los funcionamientos de bajo régimen del motor —como es mostrado en el punto A de la figura 4-36— el volumen de inyección de combustible a regímenes elevados puede llegar a ser tan alto como el indicado por el punto B del gráfico. Este exceso de combustible es causa de que haya penuria de aire, lo que lleva a la combustión incompleta y a la emisión de humo negro.

Inversamente, si el volumen de inyección es fijado para adaptarse a los funcionamientos de régimen elevado del motor —como es mostrado en el punto D de la figura 4-36— el volumen de inyección de combustible a regímenes bajos puede llegar a ser tan bajo como el indicado por el punto C del gráfico. La menor cantidad de combustible disponible en proporción al mayor volumen de aire hace que la mezcla sea pobre, lo que impide que el motor funcione en condiciones óptimas.

Es por esta razón que la barra reguladora de cremallera está prevista para desplazarse en el sentido del “aumento de combustible” —en el intervalo de los regímenes intermedios del motor— y de esta manera la relación aire y combustible puede ser mantenida casi constante. Esto incrementa el par motor a regímenes de baja velocidad del motor lo que permite que el motor funcione al máximo de sus capacidades.

h. Decremento del régimen

Debido a que la operación de regulación del regulador depende del régimen de rotación de la bomba, el máximo de rpm del motor en una posición determinada de la palanca de ajuste es ligeramente mayor en el estado sin carga que en el estado de plena carga. (Refiérase a la figura 4-37)

Esta variación del régimen es denominada “factor de decremento del régimen”, y puede ser expresado de la manera siguiente:

$$\text{Factor de decremento del régimen} = \frac{(N_n - N_f)}{N_f} \times 100 (\%)$$

Expresión en la cual:

Nn: Régimen máximo sin carga (rpm) en una posición determinada de la palanca de ajuste.

Nf: Régimen máximo de plena carga (rpm) en la misma posición de la palanca de ajuste que para Nn.

Ejemplo: Si el régimen máximo de plena carga es de 1.200 rpm y el régimen máximo sin carga es de 1.260 rpm, el factor de decremento del régimen será:

$$\frac{(1.260 - 1.200)}{1.200} \times 100 = 5 (\%)$$

El factor de decremento del régimen es una medida que representa la eficacia del regulador. Normalmente, mientras menor es el factor de decremento del régimen mayor es la eficacia del regulador. Sin embargo, debido al hecho de que es afectado por el rendimiento del motor, el factor de decremento del régimen no puede hacerse demasiado bajo.

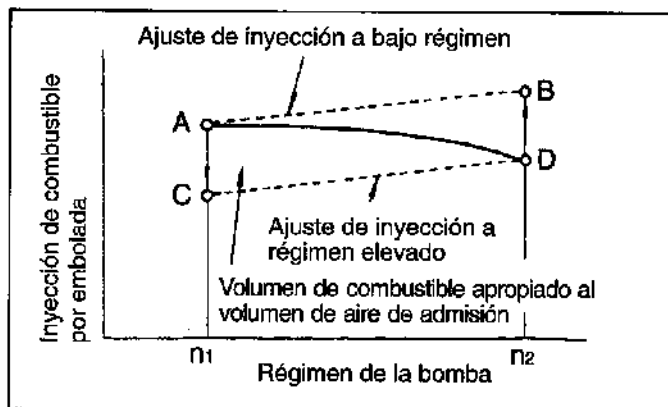


Figura 4-36 Volumen de combustible necesario y características de la inyección

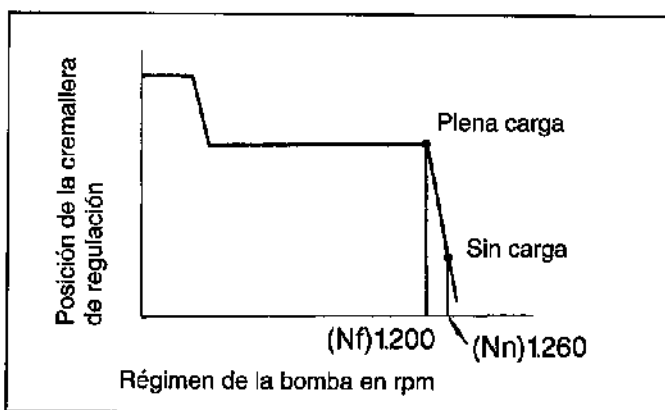


Figura 4-37 Ejemplo de factor de decremento del régimen

Funcionamiento de la palanca de paro del motor

Para parar el motor, los reguladores precedentes utilizaban la palanca de ajuste para mover la barra reguladora y cremallera a la posición de paro del motor. En los modelos más recientes, se ha incorporado una palanca de paro del motor en la parte superior del regulador.

La figura 4-38 muestra el funcionamiento de la palanca de paro. La rotación de la palanca de paro hace que su brazo se apriete contra la porción en forma de gancho en la parte superior de la gemela y mueva la barra reguladora y cremallera hacia el sentido de "disminución de combustible". Debido a que la cremallera de regulación puede ser desplazada solamente cuando el resorte de régimen de ralentí es comprimido, la palanca de paro del motor puede ser accionada solamente durante el régimen de ralentí o marcha en vacío.

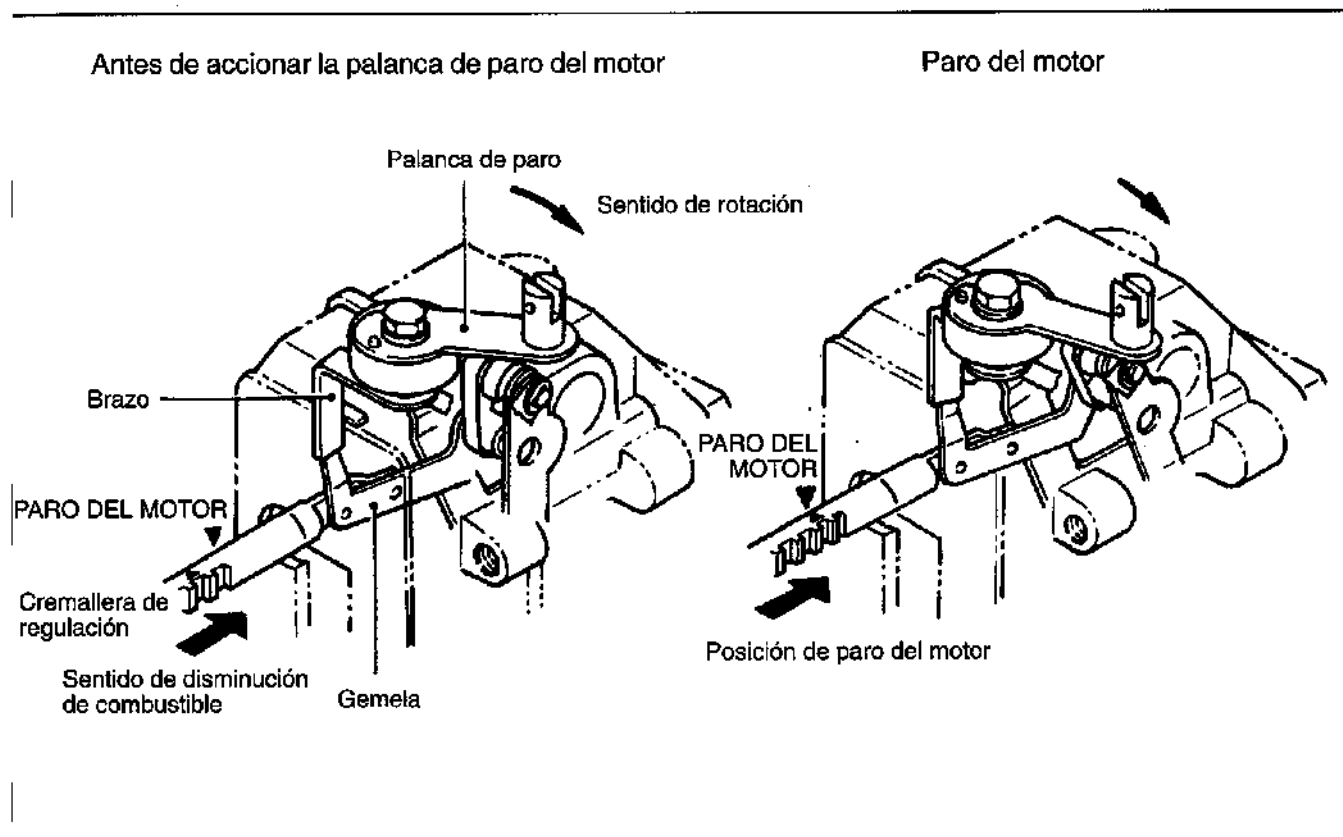


Figura 4-38 Funcionamiento de la palanca de paro del motor

j. Funcionamiento del resorte limitador

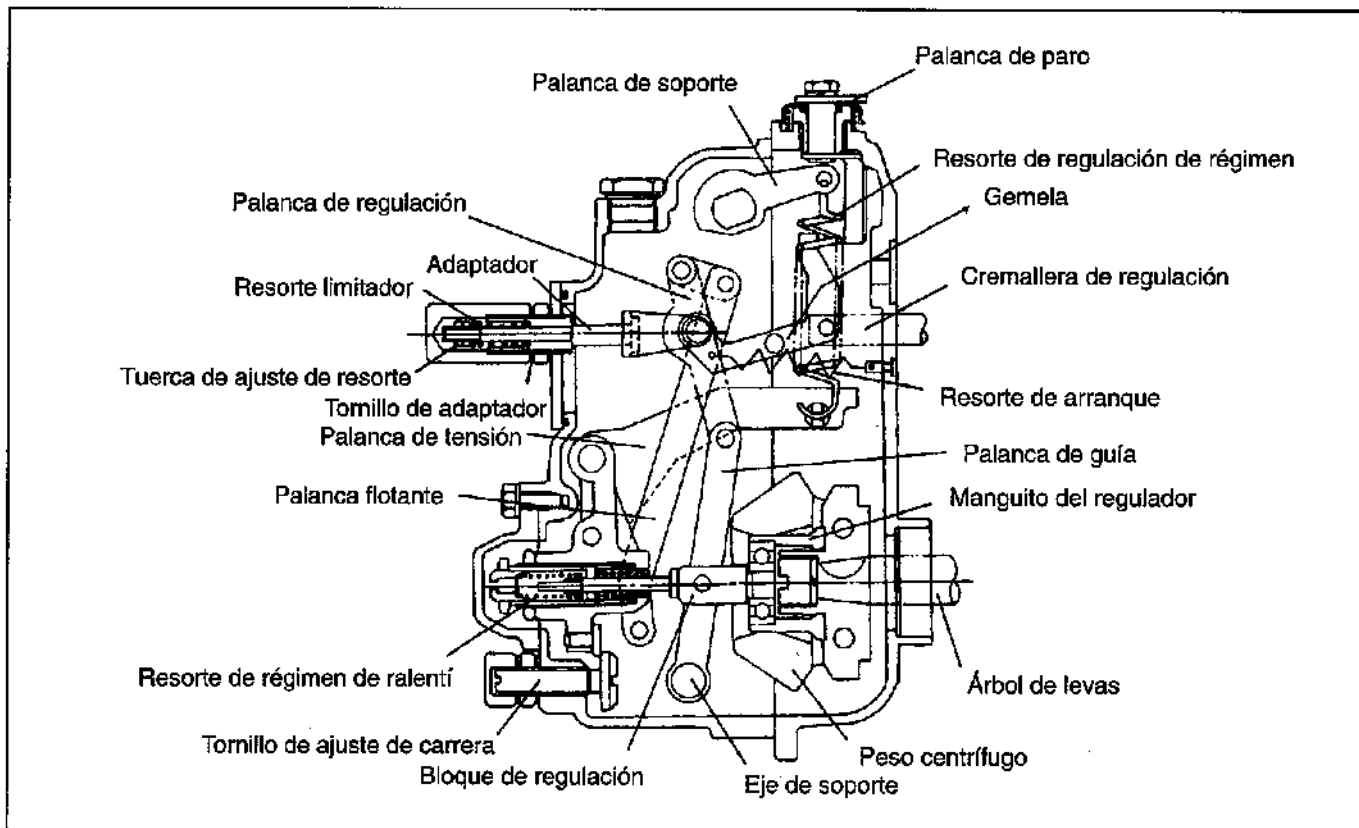


Figura 4-39 Construcción del resorte limitador

El funcionamiento del resorte limitador, que está instalado en la parte trasera de algunos reguladores tipo R721, es descrito a continuación.

Como mostrado en el diagrama de construcción de la figura 4-39, el resorte limitador de tensión predeterminada está montado en el regulador. El resorte limitador está constituido por una tuerca de ajuste de resorte, muelle, por un tornillo de adaptador, y un adaptador.

Como es mostrado en la curva de características de la figura 4-40, cuando el resorte limitador no está instalado, la cremallera de regulación empieza su desplazamiento yendo en el sentido del "aumento de combustible" al régimen N_1 de la bomba de inyección y es accionada por el resorte de régimen de ralentí. Sin embargo, cuando el resorte limitador está instalado, la barra reguladora de cremallera permanece estacionaria hasta que la fuerza del resorte de régimen de marcha en vacío excede la carga especificada del resorte limitador. Por lo tanto, la función de aumento del combustible empieza a actuar cuando el régimen de la bomba alcanza el valor N_2 y así limita la emisión de humo en el intervalo de funcionamiento normal entre los valores N_1 y N_2 . Adicionalmente, el resorte limitador determina la posición R_s de la cremallera de regulación, necesaria para hacer arrancar el motor.

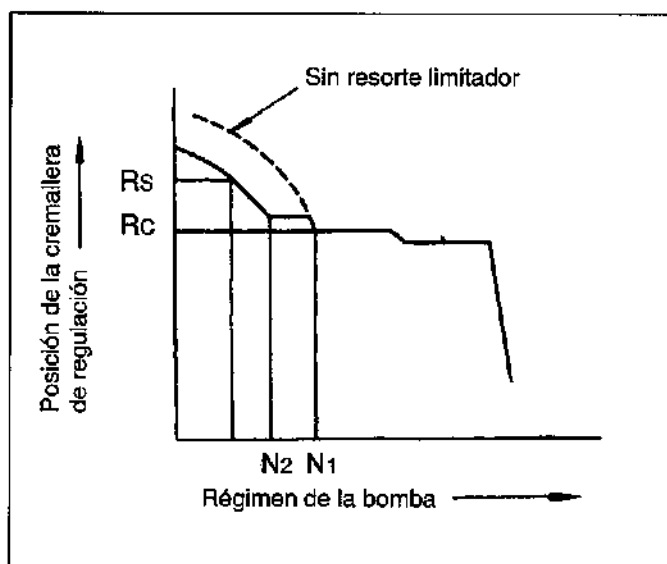


Figura 4-40 Funcionamiento del resorte limitador

k. Palanca de permuta de funcionamiento dual

El regulador tipo R721 está equipado con una palanca de permuta de etapa dual que puede ser utilizada para seleccionar los dos funcionamientos posibles: funcionamiento como regulador de máxima-mínima para la conducción general en carretera, y el funcionamiento como regulador de regulación continua en todos los regímenes de velocidad para el trabajo estacionario. La figura 4-41 muestra la construcción de la palanca de funcionamiento dual.

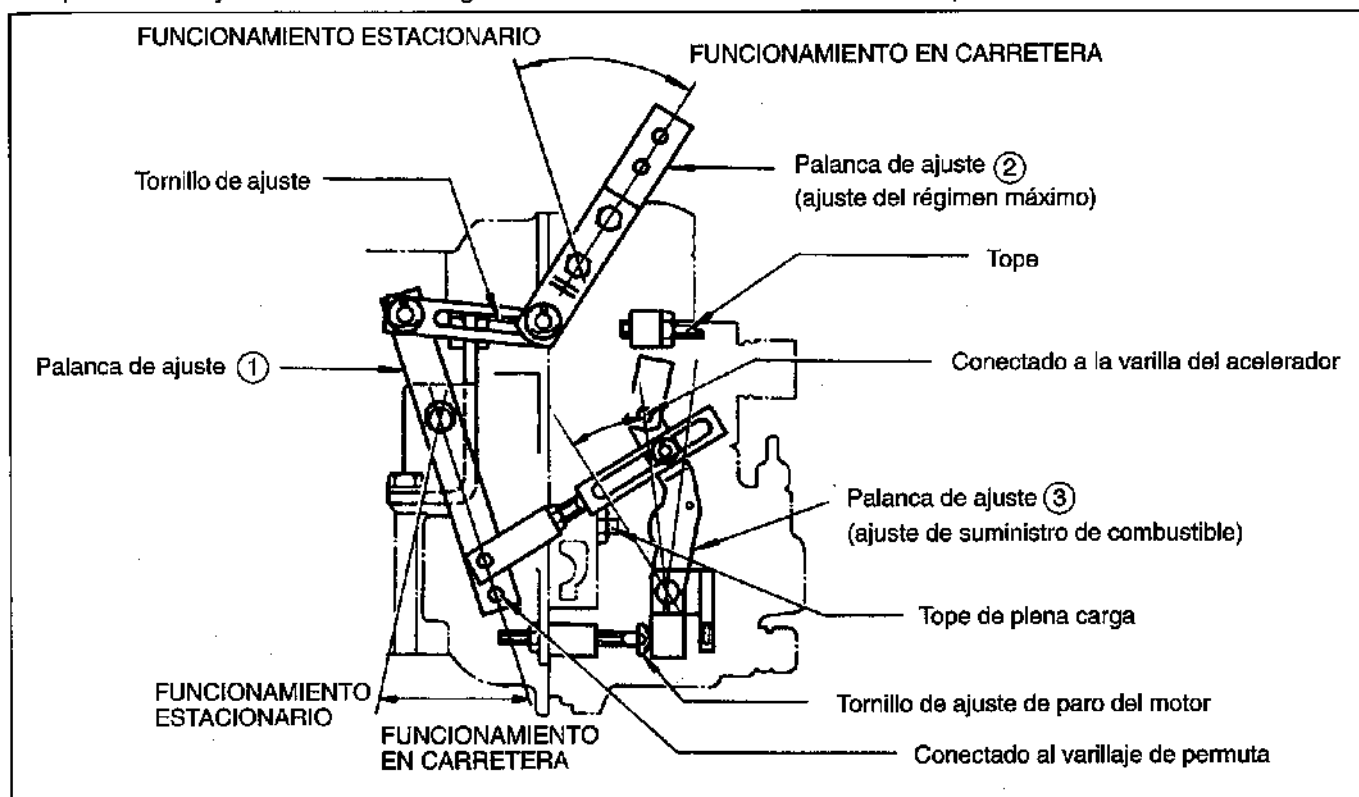


Figura 4-41 Funcionamiento de la palanca de permuta de funcionamiento dual

- 1) En el caso de funcionamiento en carretera, colocar la palanca de ajuste ① en FUNCIONAMIENTO EN CARRETERA, hace que la palanca ② de ajuste de régimen entre en contacto con el tornillo de ajuste y permanezca fijada en dicha posición. Así entonces, la palanca de ajuste de combustible puede ser utilizada para el funcionamiento del motor tal como en el caso de los vehículos convencionales para carretera.

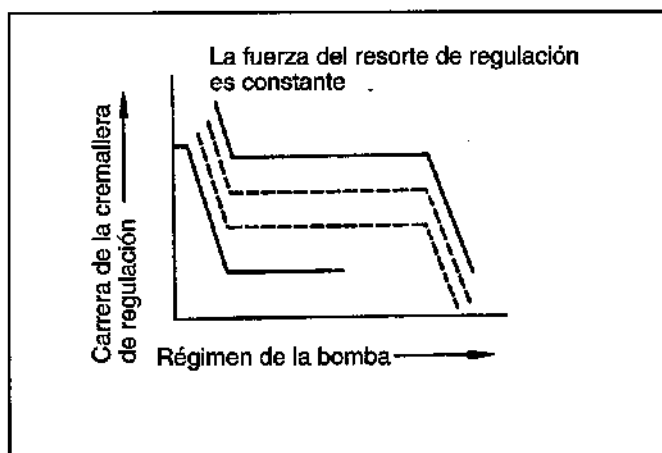


Figura 4.42 Régimen de máxima-mínima (funcionamiento en carretera)

- 2) Para el funcionamiento estacionario, colocar la palanca de ajuste ① en **FUNCIONAMIENTO ESTACIONARIO**, fija la palanca de ajuste de combustible en la posición **PLENA CARGA**. El accionamiento de la palanca de ajuste del régimen máximo, que hace variar la tensión del resorte de regulación, permite que el motor funcione a las rpm requeridas por el trabajo.

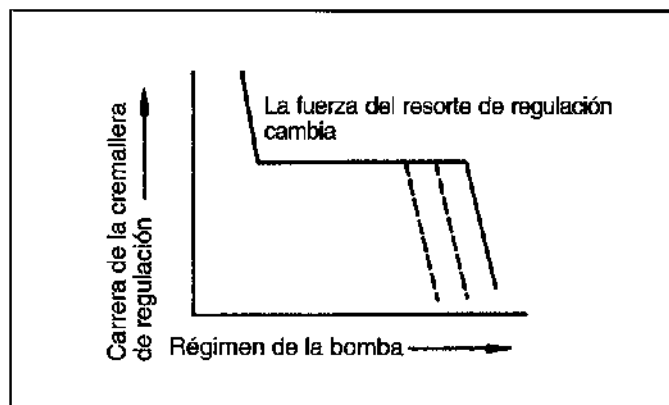


Figura 4-43 Regulación continua (funcionamiento estacionario)

4-6. REGULADOR TIPO R722

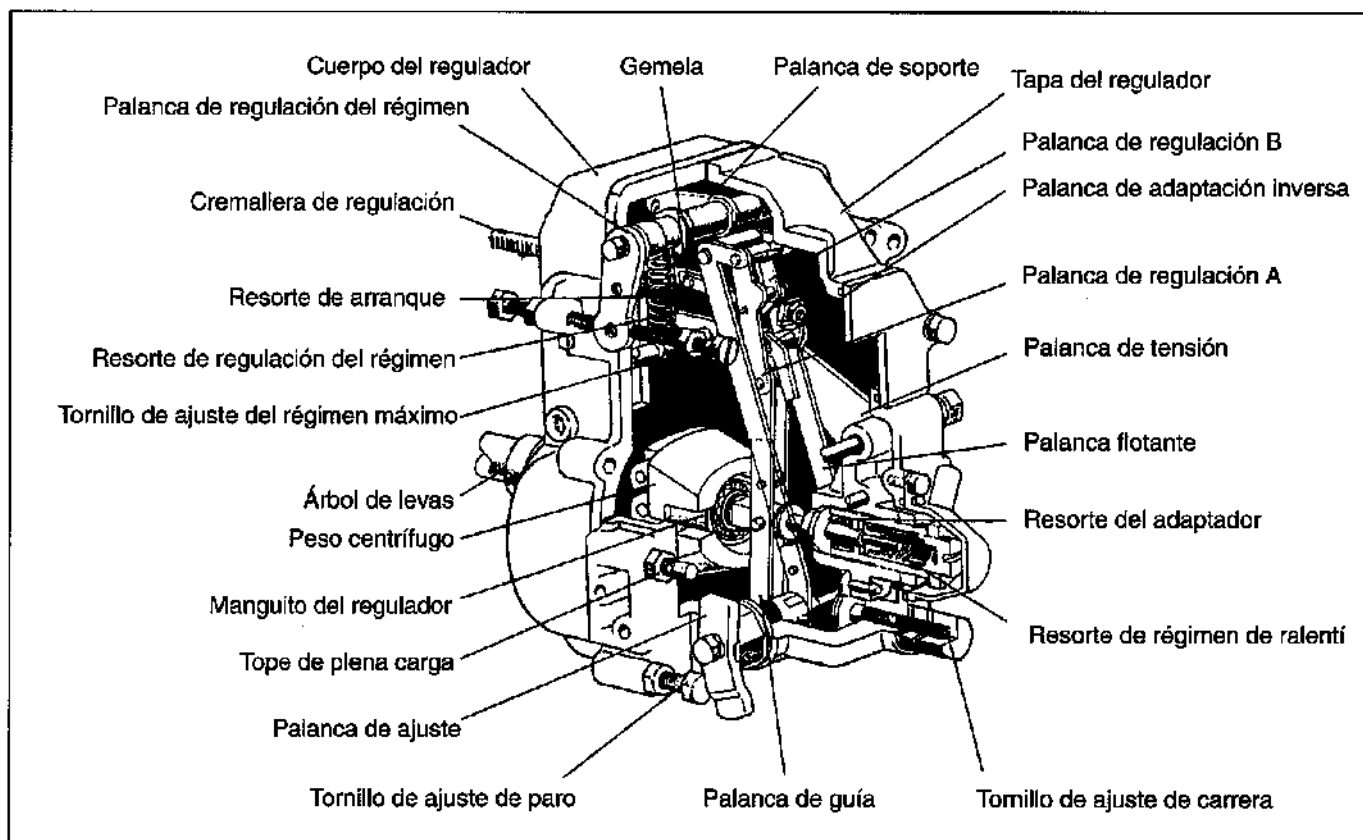


Figura 4-44 Construcción del regulador tipo R722

(1) Descripción de la construcción y del funcionamiento

La figura 4-44 muestra la construcción del regulador tipo R722. Semejante al tipo R721, el regulador tipo R722 está equipado con una función adicional de sistema de adaptación inversa. Debido a que los otros componentes son, básicamente, los mismos que en el regulador tipo R721, esta sección describe solamente el sistema de adaptación inversa.

La figura 4-45 presenta un diagrama de construcción del sistema de adaptación inversa. La palanca de adaptación inversa está fijada en la palanca flotante. La palanca de adaptación inversa está montada en forma tal que su extremo en forma de horquilla encaja en el vástago que une la palanca de regulación A y la palanca de guía. Hay dos palancas de regulación, A y B, estando ambas encajadas entre sí, como es mostrado en la figura 4-47. La palanca B, que está constantemente empujada en una dirección por un resorte o muelle plano, normalmente se mueve conjuntamente con la palanca A.

Cuando la velocidad aumenta y la palanca de guía se mueve hacia la derecha, la palanca de adaptación inversa gira a la izquierda y esto hace que el tornillo de ajuste —que está atornillado a la palanca— entre en contacto con la palanca de regulación B. Esta fuerza excede la acción del resorte plano y empuja la palanca de regulación B haciendo que la cremallera de regulación se mueva en el sentido del “aumento de combustible”. (Refiérase a la figura 4-46)

Así entonces, a regímenes elevados, el regulador de tipo R722 aumenta el volumen de suministro de combustible de acuerdo con las necesidades del motor, como es ilustrado en el diagrama de las características del regulador presentado en la figura 4-46. Las características de adaptación inversa se manifiestan solamente cuando la palanca de ajuste está en la posición de plena carga, o cerca de ella. Cuando la palanca de ajuste está en otras posiciones, el regulador funciona de acuerdo con las características de adaptación compensadora. Este tipo de regulador es utilizado principalmente en motores de inyección directa, incluso en los que utilizan las bombas de inyección PE-A, PE-P, y PE-NB (EP-9).

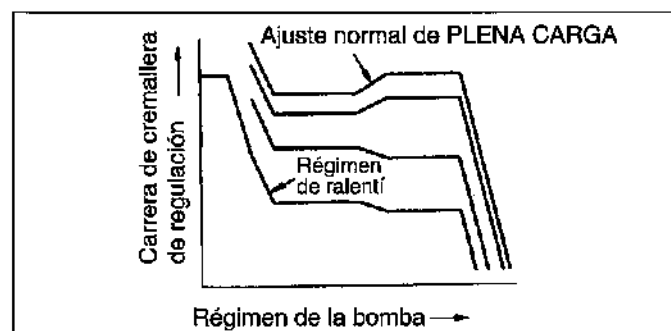


Figura 4-46 Características del regulador R722

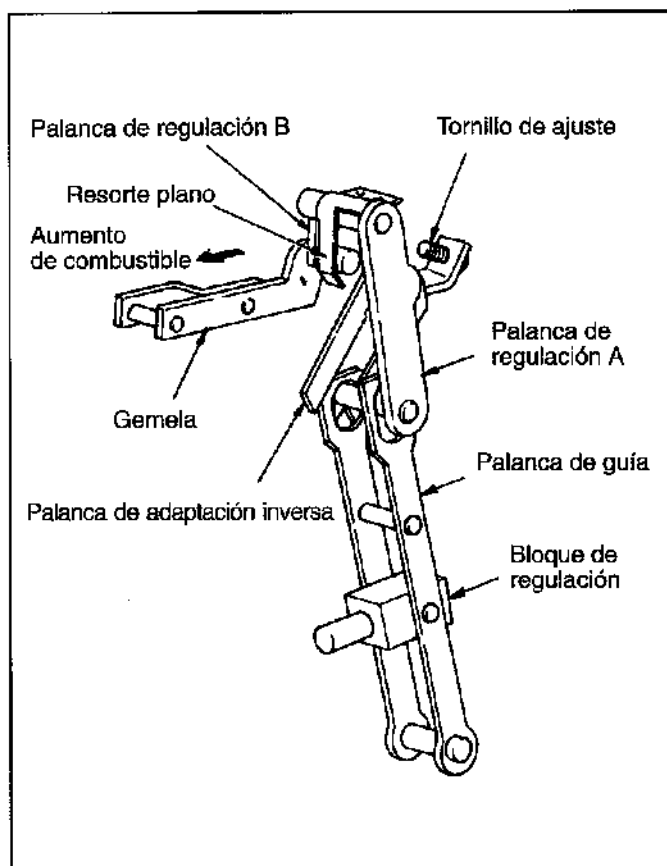


Figura 4-45 Construcción del sistema de adaptación inversa

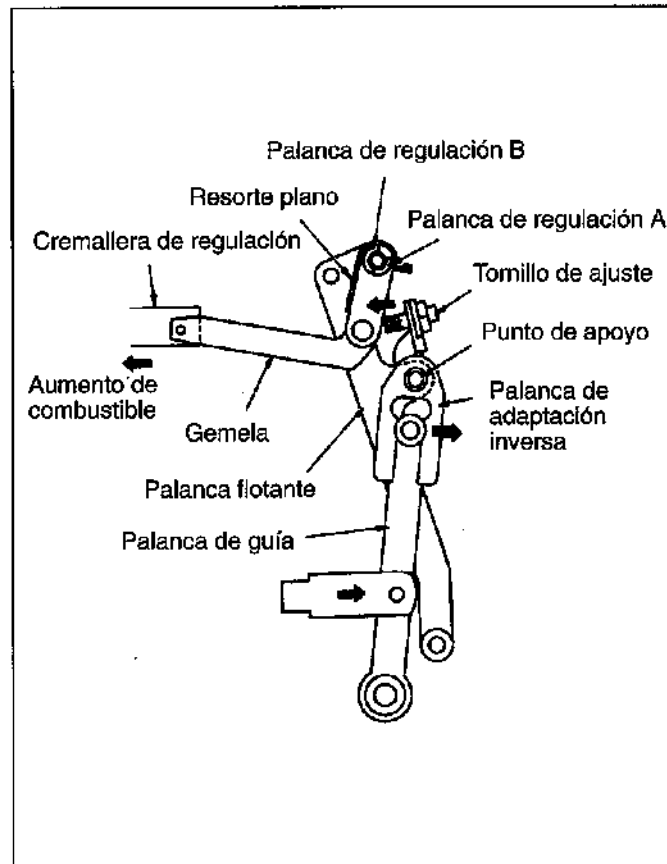


Figura 4-47 Funcionamiento de la palanca de adaptación inversa

(2) Funcionamiento

a. Arranque del motor

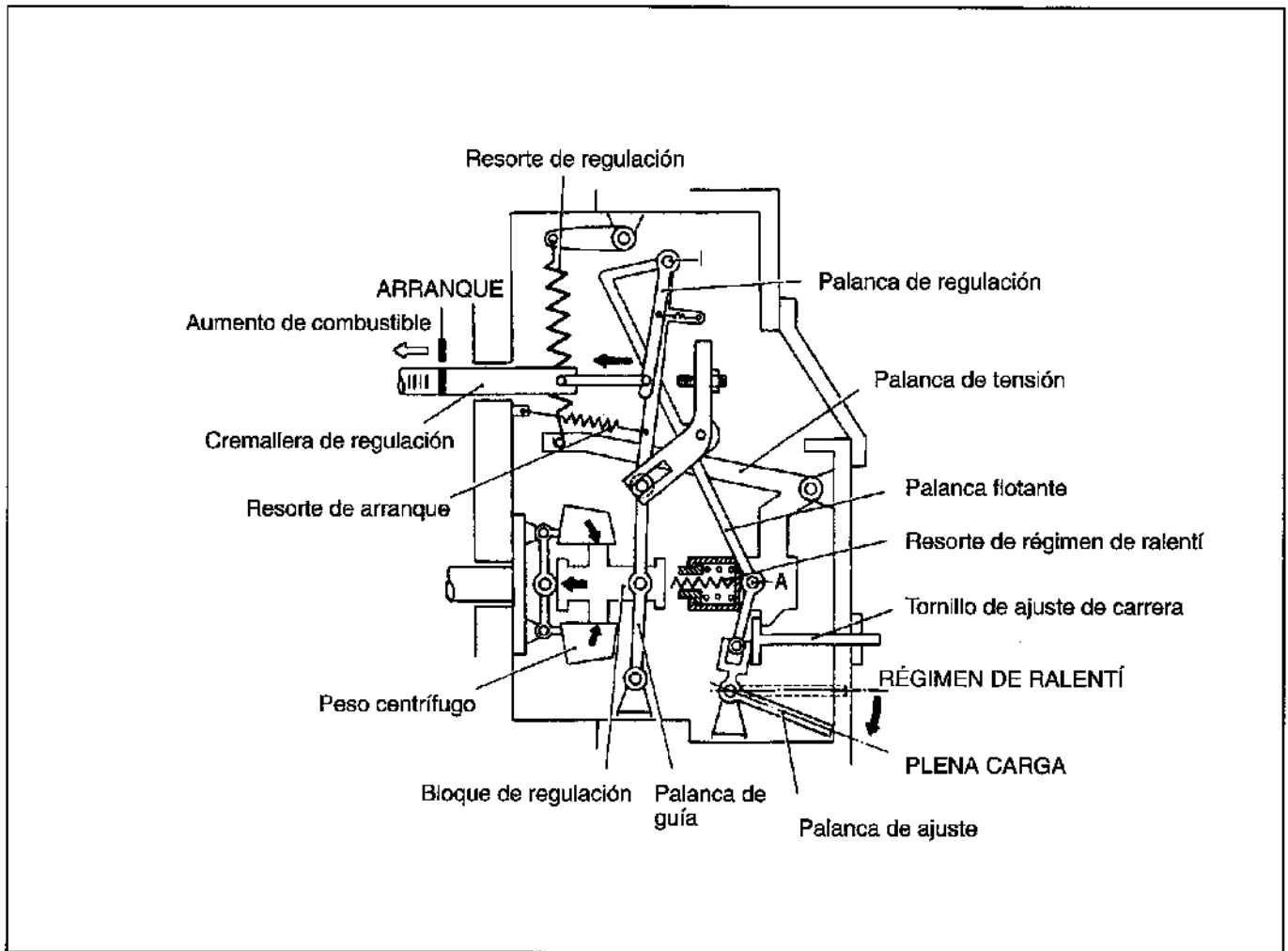


Figura 4-48 Arranque del motor con el regulador tipo R722

Cuando el motor está parado, los pesos centrífugos o masas del regulador están en su posición de reposo. Cuando el conductor aprieta el pedal del acelerador, la palanca de ajuste del regulador se mueve hacia la posición de plena carga, y la palanca flotante gira a la izquierda, pivoteando en el punto A. Debido al hecho de que una fuerza constante es aplicada por el resorte de arranque para mover la palanca de regulación hacia la izquierda, esta fuerza empuja la cremallera de regulación a su posición de arranque. Así entonces, para ayudar a que el motor arranque con facilidad, un volumen suficiente de combustible es inyectado durante el arranque.

NOTA: La figura 4-48 es un diagrama esquemático para explicar el funcionamiento del mecanismo y no muestra, necesariamente, cómo es el mecanismo en la realidad.

b. Regulación del régimen de marcha en vacío

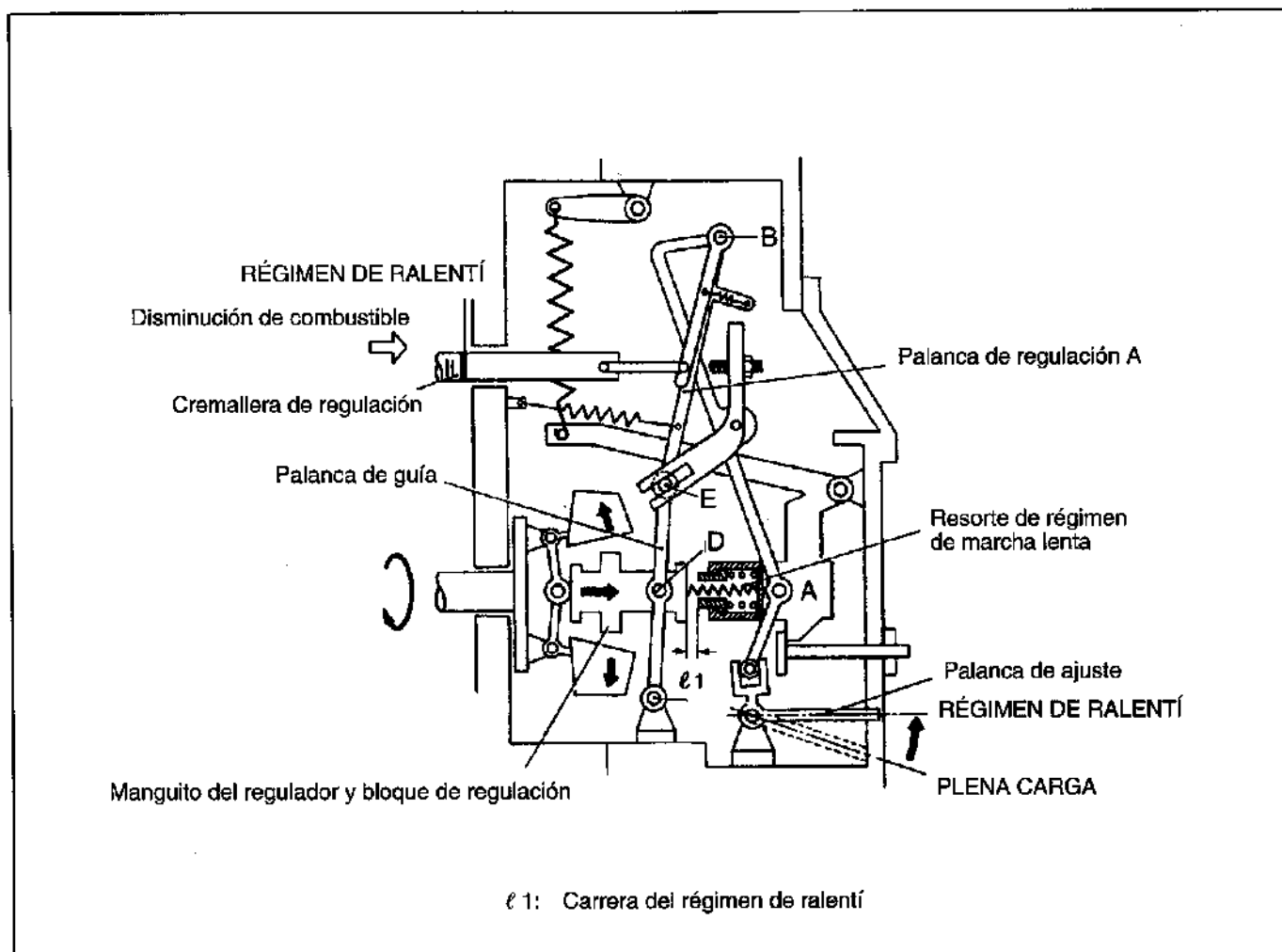


Figura 4-49 Regulación del régimen de ralentí

Cuando el motor ya ha arrancado y el conductor suelta el pedal del acelerador, la palanca de ajuste del regulador vuelve a la posición de régimen de marcha lenta. Entonces, la palanca flotante, que pivotea en el punto A, gira a la derecha y hace que la cremallera de regulación se desplace en el sentido de la "disminución de combustible". En este momento, el conjunto de pesos centrífugos está girando a baja velocidad y la pequeña fuerza centrífuga generada por los pesos se equilibra con la fuerza combinada del resorte de arranque y de los resortes de régimen de marcha en vacío, y esto permite que la regulación del régimen de marcha lenta sea suave y fácil.

Si el régimen del motor excede el régimen de ralentí especificado, los brazos de los pesos centrífugos se abrirán más y debido a esto el manguito del regulador y el bloque de regulación se desplazarán hacia la derecha. Entonces, la palanca de guía—que pivotea en el punto C—gira a la derecha y hace que el punto E (extremo inferior de la palanca de regulación) se desplace a la derecha. Este movimiento hace que la palanca de regulación—que pivotea en el punto B (la palanca flotante está fijada)—gire a la izquierda y accione la cremallera de regulación desplazándola en el sentido de la "disminución de combustible". El resultado de esto es que el régimen del motor disminuye y así se mantiene el régimen de ralentí especificado.

Inversamente, si el régimen del motor disminuye a valores inferiores al régimen de ralentí especificado, los brazos de los pesos centrífugos se cierran y esto causa la inversión de las etapas de funcionamiento antes descritas, lo que hace que la cremallera de regulación se desplace en el sentido del "aumento de combustible" para así mantener el régimen de ralentí especificado.

c. Regulación de la adaptación Inversa

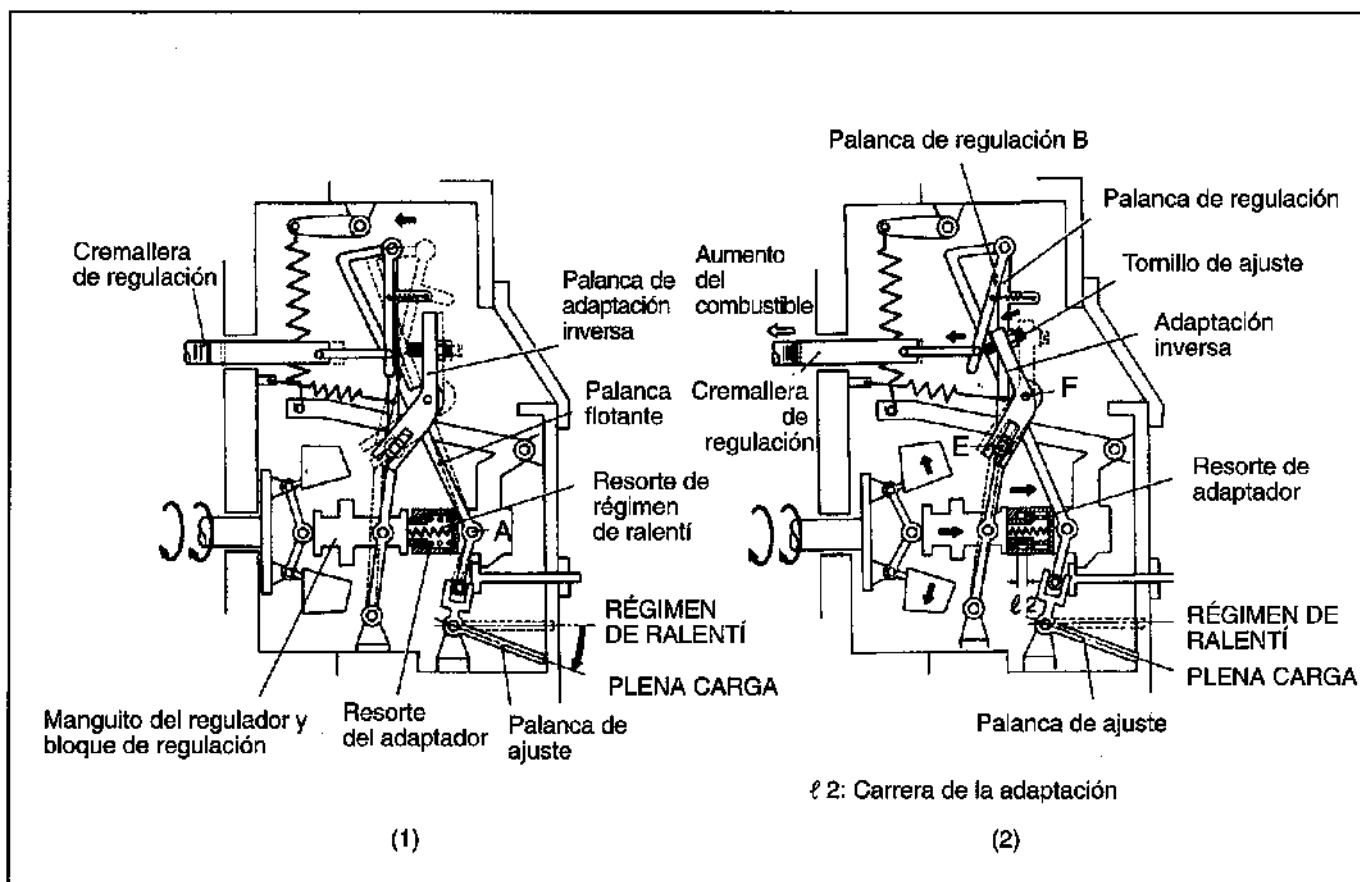


Figura 4-50 Regulación de la adaptación inversa

Cuando el conductor aprieta el pedal del acelerador, la palanca de ajuste se mueve de la posición de régimen de ralentí a la posición de plena carga. Esto es causa de que la palanca flotante —que pivotea en el punto A— gire a la izquierda para desplazar la cremallera de regulación en el sentido del “aumento de combustible”. Y el resultado es que el régimen de motor aumenta. Entonces, a medida de que la fuerza centrífuga generada por los pesos aumenta, los pesos comprimen los resortes del régimen de marcha en vacío, y el manguito del regulador con el bloque de regulación se desplazan hacia la derecha. Después de haber comprimido los resortes del régimen de marcha lenta instalados dentro del adaptador, el bloque de regulación aplica presión sobre el resorte del adaptador. Sin embargo, a la acción del bloque de regulación se opone la fuerte tensión del resorte del adaptador y el bloque de regulación interrumpe su acción y permanece en este estado. (Refiérase a la figura 4-50 (1))

Cuando el régimen del motor aumenta aún más, la fuerza centrífuga generada por los pesos aumenta haciéndose superior a la fuerza de tensión del resorte del adaptador y es causa de que el bloque de regulación se desplace hacia la derecha. Entonces, debido a que el punto E de la palanca de guía se mueve hacia la derecha, la palanca de adaptación inversa —que pivotea en el punto F— gira hacia la izquierda y acciona el tornillo de ajuste para desplazar la palanca de regulación B. El resultado de esto es que la cremallera de regulación se mueve en el sentido del “aumento de combustible”. (Refiérase a la figura 4-50 (2)). Como es mostrado en la figura 4-51, la carrera del adaptador determina la carrera de la barra reguladora de cremallera.

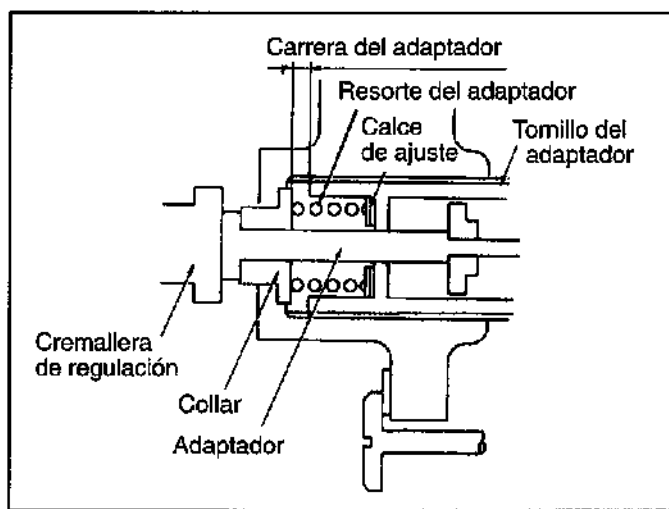
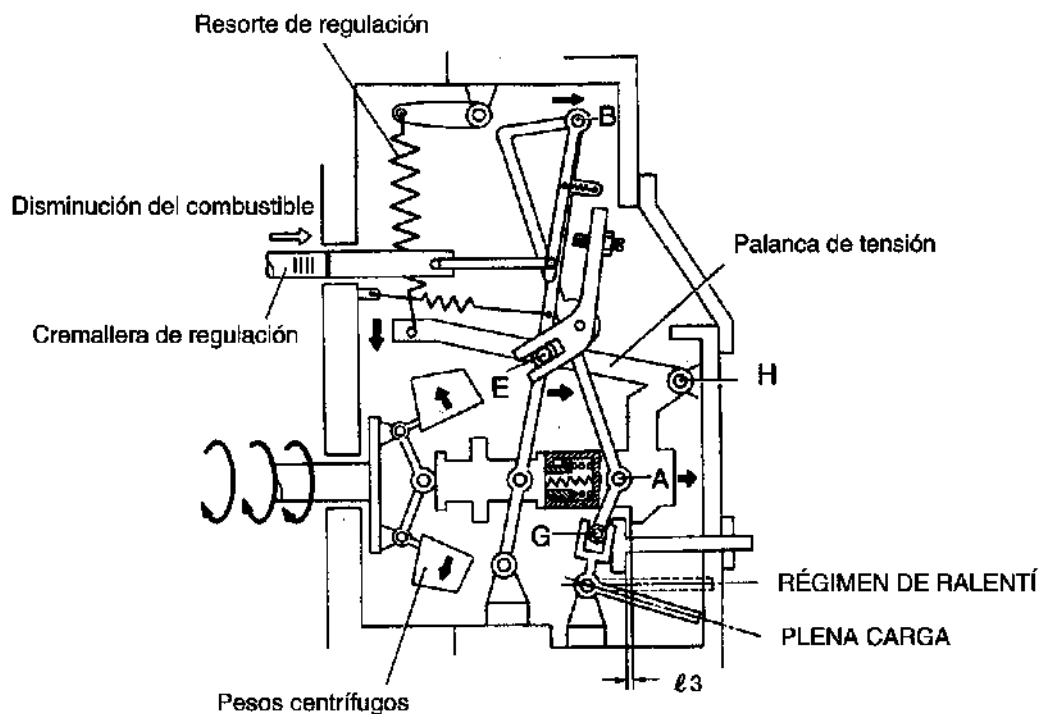


Figura 4-51 Regulación de la adaptación inversa

d. Regulación del régimen máximo



$\ell 3$: Carrera de regulación de régimen elevado

Figura 4-52 Regulación de régimen elevado

Cuando el régimen del motor sobrepasa el régimen máximo, la fuerza centrífuga generada por los pesos aumenta haciéndose superior a la fuerza de tensión del resorte de regulación que es aplicada a la palanca de tensión y esto hace mover el extremo inferior de la palanca de tensión hacia la derecha. Entonces, debido a que el punto A de la palanca flotante —que pivotea en el punto (fijo) G— se desplaza a la derecha, el punto B también se desplaza hacia la derecha. Y porque el punto E también se mueve hacia la derecha, toda la palanca de regulación se desplaza hacia la derecha y empuja la cremallera de regulación en el sentido de la “disminución de combustible”. El resultado de esto es que el régimen del motor es mantenido al régimen de velocidad máxima especificado.

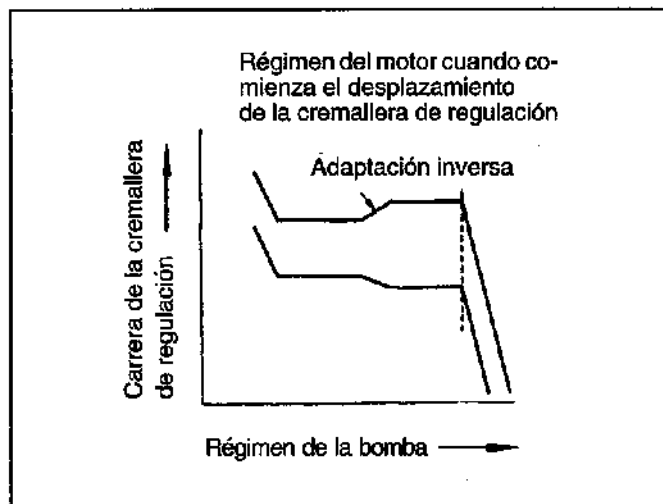


Figura 4-53 Características del regulador

e. Curvas de las características

La figura 4-54 muestra las curvas de las características que representan las relaciones entre la posición de la cremallera de regulación y el régimen de la bomba del regulador tipo R722.

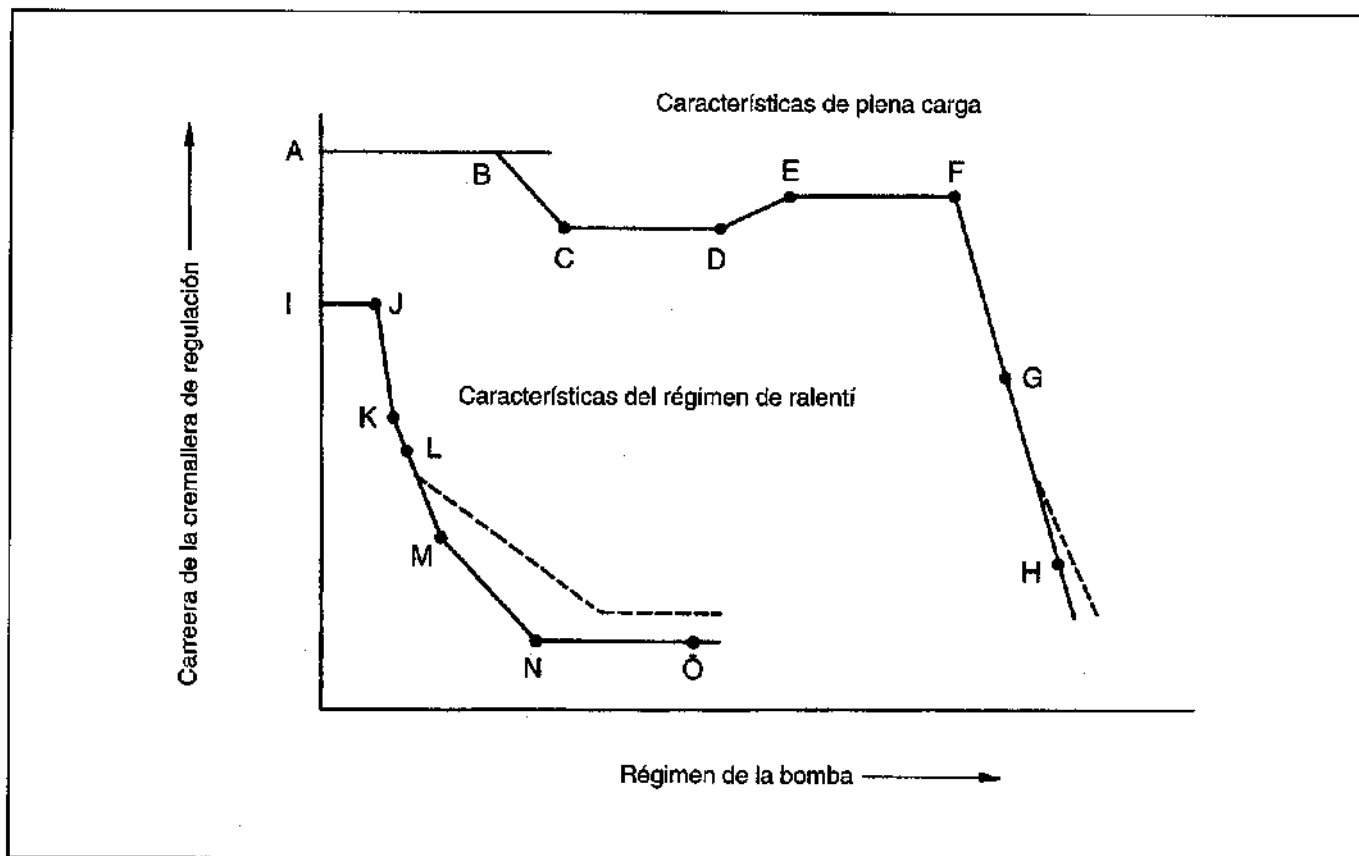


Figura 4-54 Características del regulador

Las características de plena carga serán explicadas en primer lugar.

La línea A-B muestra la posición de la cremallera de regulación cuando el motor arranca. La tapa de la cremallera instalada en la bomba determina la carrera máxima de la barra reguladora de cremallera.

La línea B-C muestra que el régimen de la bomba es insuficiente para permitir que el bloque de regulación supere la tensión ejercida por el resorte interior de régimen de ralentí.

La línea C-D muestra el resorte interior de régimen de ralentí en el estado de compresión, y el resorte interior de régimen de ralentí que entra en contacto con el resorte del adaptador. Sin embargo, debido al hecho de que la fuerza centrífuga generada por los pesos no es suficiente para sobrepasar la acción de la tensión del resorte del adaptador, la cremallera de regulación no se moverá.

La línea D-E muestra el estado cuando el resorte del adaptador es comprimido debido al incremento del régimen. En este momento, la palanca de adaptación inversa actúa y empuja hacia afuera la cremallera de regulación.

La línea E-F muestra el estado cuando el resorte del adaptador está completamente comprimido y la cremallera de regulación está en contacto directo con la palanca de tensión. El punto F es el punto donde la regulación del régimen máximo de velocidad de giro del motor empieza a tener efecto. El régimen de la bomba, en este momento, se denomina régimen máximo de plena carga. El punto G muestra la posición de la cremallera de regulación en la que el motor puede funcionar en el estado de carga nula, sin carga. El régimen de la bomba, en este momento, se denomina régimen máximo sin carga. El punto H muestra que la cremallera de regulación es adicionalmente desplazada hasta la posición donde no hay ningún suministro de combustible.

Las características del régimen de marcha lenta serán explicadas a continuación.

La línea I-J-K muestra el estado cuando el régimen de la bomba es extremadamente bajo, y en el cual solamente actúa el resorte de arranque para desplazar la cremallera de regulación.

La línea K-L-M muestra el estado en el que solamente actúa el resorte exterior de régimen de ralentí. En este estado, las fuerzas combinadas del resorte exterior de régimen de ralentí y del resorte de arranque están en equilibrio con la fuerza centrífuga generada por los pesos. El punto L es el punto de régimen de ralentí.

La línea M-N muestra el estado en el que se adiciona la acción del resorte interior de régimen de ralentí, y la operación de regulación es idéntica a la de las características de plena carga mostrada por la línea B-C.

La línea N-O muestra que la fuerza centrífuga generada por los pesos ha aumentado y que su acción comprime todos los resortes de régimen de ralentí y es causa de que el bloque de regulación entre en contacto con el resorte del adaptador en la palanca de tensión.

La línea de puntos muestra las características cuando es instalado un resorte de amortiguación para evitar que el motor se cale y se detenga.

4-7. REGULADORES TIPO R811 Y R812

Los reguladores tipo R811 y R812 son idénticos, respectivamente, a los reguladores tipo R721 y R722, excepto el hecho de que incorporan un dispositivo de seguridad. El funcionamiento de este dispositivo de seguridad es explicado a continuación.

La palanca flotante está dividida en dos partes; la palanca superior y la palanca inferior, estando ambas conectadas en el punto A. Un resorte de seguridad es utilizado para permitir que ambas palancas funcionen conjuntamente en las condiciones normales. (Refiérase a la figura 4-56)

Cuando la palanca de ajuste está ajustada en su posición de plena carga, la palanca flotante inferior —que pivotea en el punto B— gira a la izquierda. Debido al hecho de que el extremo superior no está fijo, la palanca flotante superior conjuntamente con el resorte de seguridad se desplazan sincronizadamente con la palanca flotante inferior. A causa de esto, la cremallera de regulación se desplaza hacia la izquierda.

Si la palanca de ajuste está fijada en su posición de plena carga, el punto C también está fijado. En este estado, el accionamiento de la palanca de paro hace que la parte superior de la gemela comprima hacia la derecha. Bajo la acción de esta fuerza, la palanca flotante superior acciona el resorte de seguridad y gira a la derecha, pivoteando en el punto A. Esto es causa de que la cremallera de regulación cambie su desplazamiento y se mueva en el sentido de la "disminución de combustible".

Después de que la palanca de ajuste está ajustada en su posición de plena carga, en los modelos R721 y R722 es imposible accionar la palanca de paro del motor. Sin embargo, cuando se está en este estado, en los modelos R811 y R812 la palanca de paro sí puede ser accionada incluso aplicando una fuerza relativamente pequeña, y ello sin aplicar una fuerza indebida en la palanca flotante. Algunos modelos de reguladores emplean esta característica utilizando un motor para accionar la palanca de paro del motor. Este motor está conectado a la llave de contacto de modo que el motor del vehículo puede ser parado automáticamente con una llave.

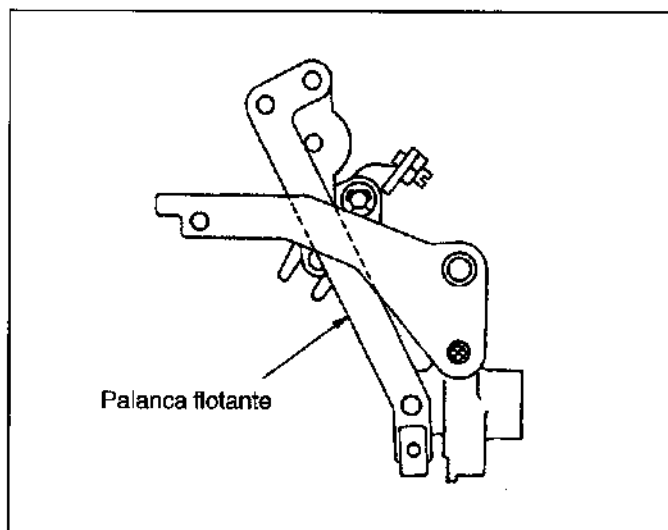


Figura 4-55 Construcción de las palancas en los reguladores tipo R721 y R722

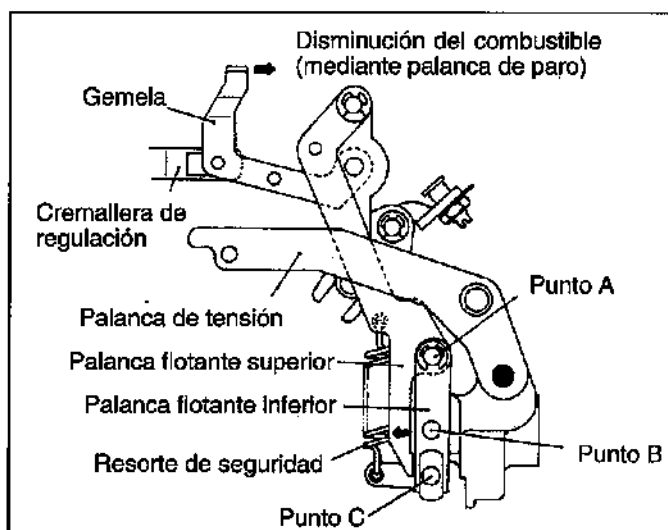


Figura 4-56 Construcción de las palancas en los reguladores tipo R811 y R812

4-8. REGULADOR TIPO R801

La construcción del regulador tipo R801 incluye un peso centrífugo que mejora las características del tipo RQ precedente, y un sistema de conexión que utiliza un mecanismo de leva. Este regulador, cuyas características son intermedias entre las del regulador convencional de máxima-mínima y las del regulador de regulación continua, es un regulador de regulación continua de todos los regímenes de velocidad y se caracteriza por su reducida fuerza de reacción de palanca. Puede ser utilizado para la conducción en carretera así como para trabajos estacionarios sin que para esto requiera modificación alguna.

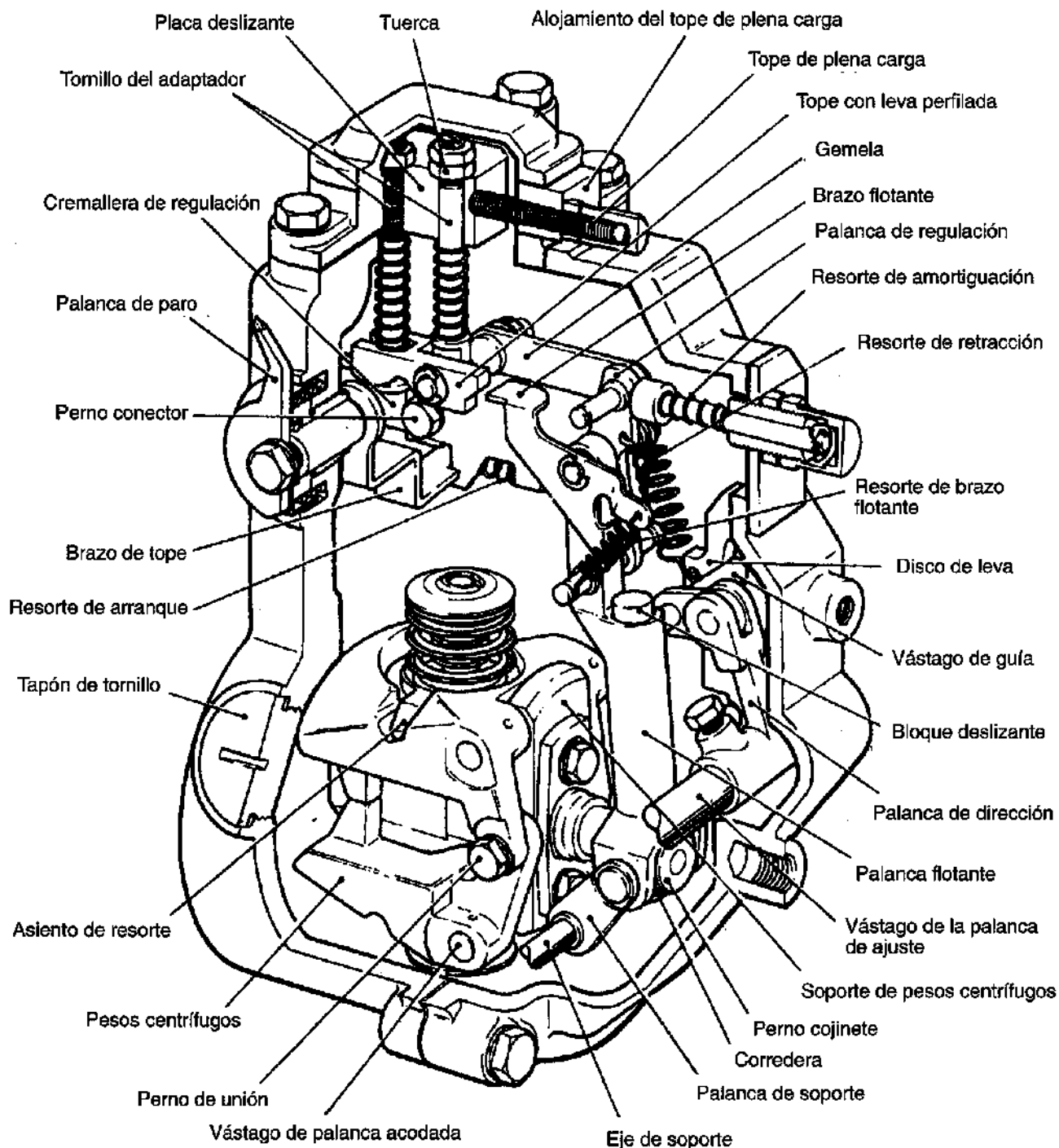


Figura 4-57 Construcción del regulador tipo R801

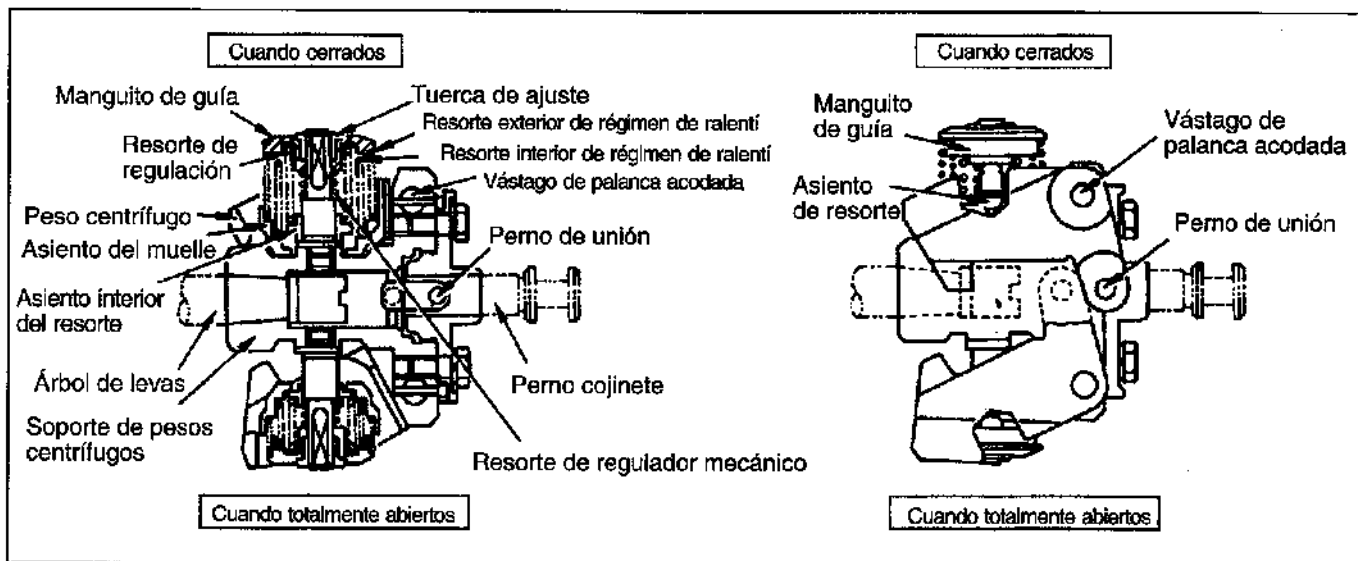


Figura 4-58 Construcción de los pesos centrífugos

(1) Conjunto de pesos centrífugos

El soporte de los pesos o masas del regulador está conectado firmemente al árbol de levas de la bomba de inyección y es accionado por él. En este soporte están montados dos pesos centrífugos de manera que puedan oscilar en cualquier sentido alrededor de sus respectivos vástagos de palanca acodada que están firmemente instalados en el soporte de los pesos centrífugos.

Los dos pesos centrífugos están unidos mediante el perno de unión que transfiere el movimiento de los pesos al perno cojinete.

Como es mostrado en la figura 4-58, los pesos centrífugos incorporan un resorte de regulación y dos resortes de régimen de ralentí. El asiento de resorte que contiene estos dos resortes o muelles tiene dos brazos de sección en V de modo que puedan encajar en las ranuras en forma de V de los pesos.

En este diseño, los resortes de ralentí siempre están uniformemente en contacto con los asientos de resorte.

El resorte del regulador mecánico instalado en el interior del peso centrífugo absorbe el juego del manguito de guía.

También hay incorporados pesos especiales denominados pesos amortiguadores que tienen amortiguadores de caucho instalados entre el árbol de levas y los pesos centrífugos. La figura 4-59 muestra la construcción de un conjunto típico de pesos amortiguadores.

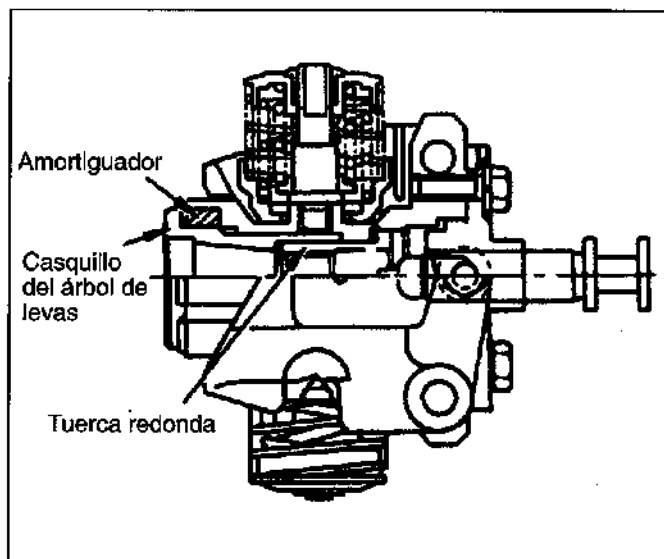


Figura 4-59 Conjunto de pesos amortiguadores

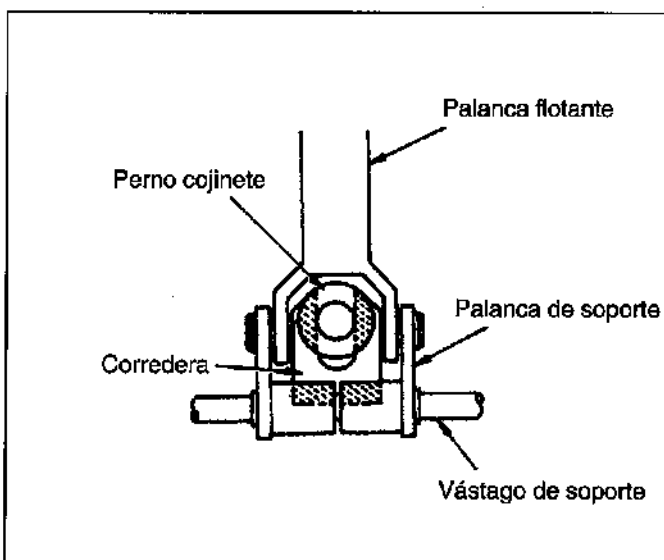


Figura 4-60 Sistema de articulación (1)

(2) Sistema de articulación

El perno cojinete está conectado mediante la corredera a la palanca de soporte y a la palanca flotante.

La palanca de soporte pivotea alrededor del vástago de soporte y la palanca flotante está articulada al vástago de soporte de manera que el movimiento de rotación de la palanca de soporte es convertido en el movimiento hacia arriba y hacia abajo de la palanca flotante. (Refiérase a la figura 4-60)

El brazo flotante y la palanca de control están articulados al extremo superior de la palanca flotante. Esta articulación les permite moverse con la palanca flotante mediante la acción del resorte del brazo flotante de esta palanca y del resorte de retracción. La palanca de regulación está conectada a la cremallera de regulación por intermedio de la gemela y del brazo, de modo que el movimiento de la palanca flotante también es transmitido a la cremallera de regulación. (Refiérase también a la figura 4-57)

La palanca de ajuste y la palanca de dirección están fijadas al vástago de la palanca de ajuste. El vástago de guía de la palanca de dirección se desplaza a lo largo de una ranura del disco de leva, mientras que el bloque deslizante se desliza en el cilindro de la palanca flotante. El movimiento de la palanca de ajuste, articulada al bloque deslizante mediante el vástago de la palanca de ajuste, causa el deslizamiento del bloque deslizante en el interior del cilindro de la palanca flotante.

El alojamiento del tope de plena carga que está situado en la parte superior del regulador contiene:

Tope con leva perfilada ...

Determina las características en condiciones de plena carga

Tomillos de adaptador ...

Determinan la posición vertical del tope con leva perfilada

Tope de plena carga ...

Determina la posición horizontal del tope con leva perfilada

Placa deslizante ...

Fija el tope con leva perfilada

La palanca de paro del motor, localizada en la parte lateral del cuerpo del regulador, es utilizada para desplazar la cremallera de regulación a la posición de paro.

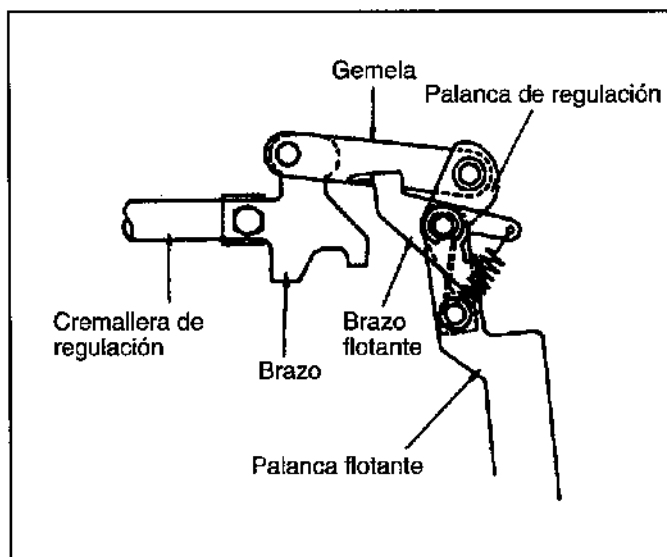


Figura 4-61 Sistema de articulación (2)

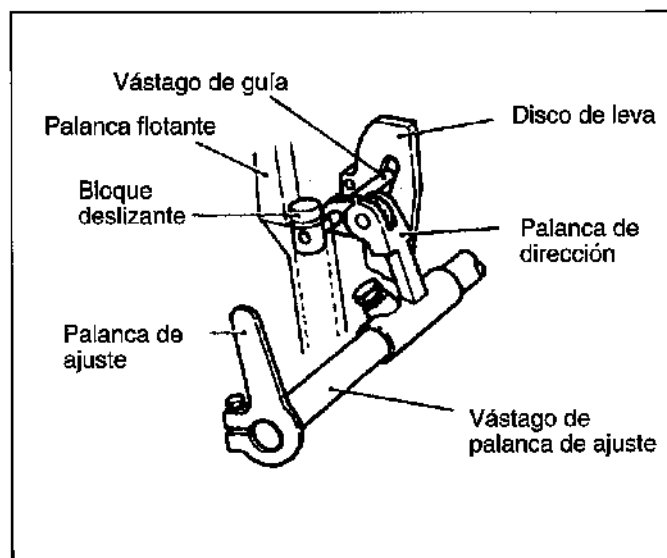


Figura 4-62 Sistema de articulación (3)

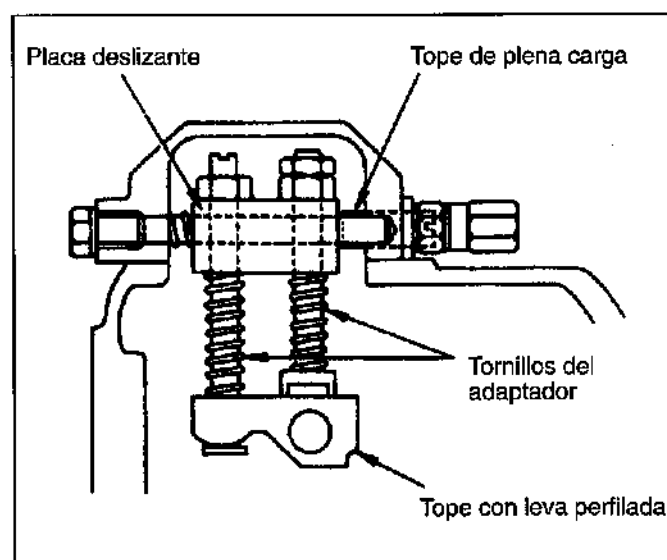


Figura 4-63 Sistema de articulación (4)

(3) Funcionamiento

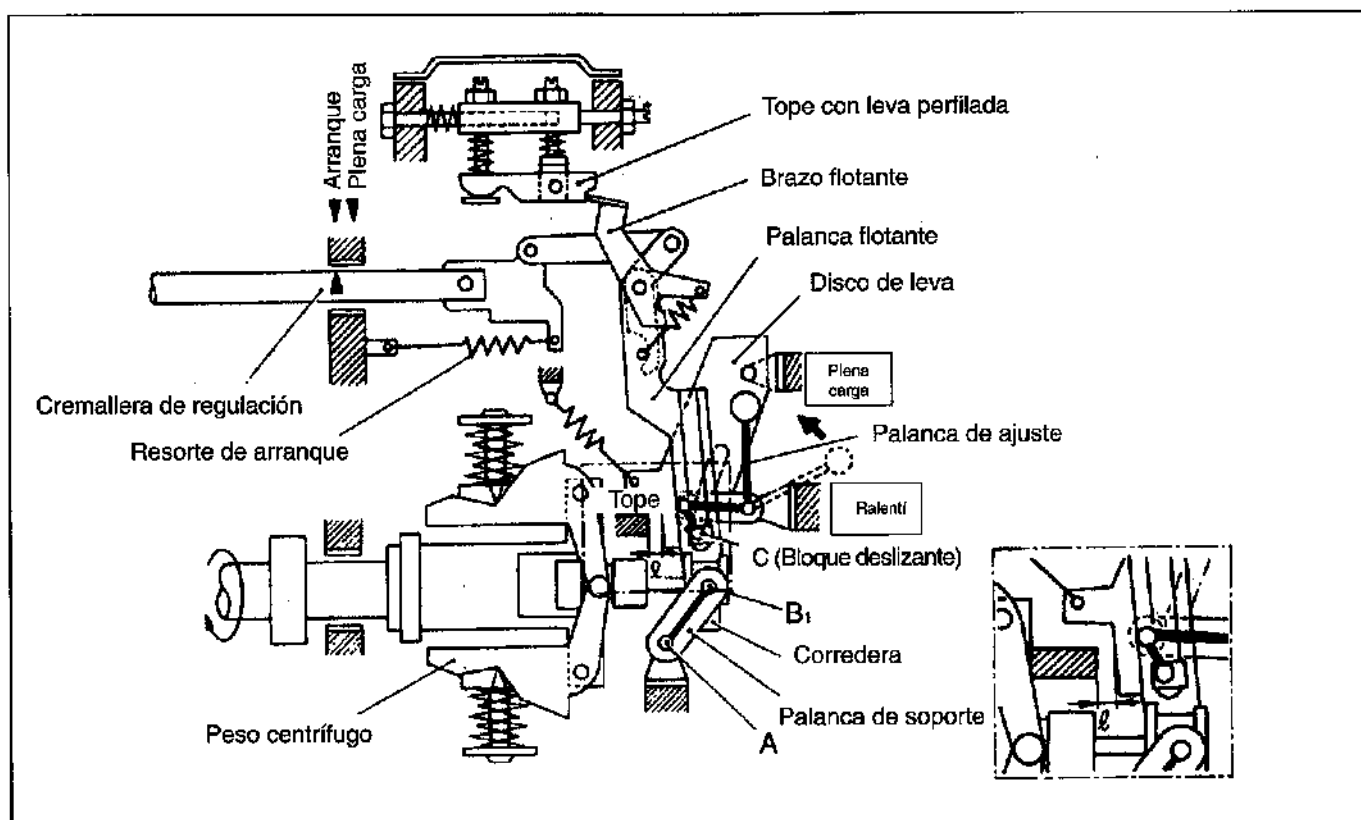


Figura 4-64 Arranque del motor

a. Arranque del motor

Mientras el motor está parado, los pesos centrífugos o masas del regulador están en su posición de reposo, en un estado "cerrado". Por consiguiente, la corredera está mantenida en la posición extrema a la derecha, y el punto B de la palanca de soporte está en su posición más baja (B₁).

Si la palanca de ajuste es girada a su posición de "plena carga", el bloque deslizante (punto C) se desplaza hacia abajo a lo largo de la ranura alargada del disco de leva y en el cilindro de la palanca flotante. Simultáneamente, la palanca flotante gira —en el punto de pivoteo B— en el sentido contrario al de las agujas del reloj hasta entrar en contacto con el tope de leva perfilada. Este movimiento de la palanca flotante hace que la cremallera de regulación se mueva en el sentido del "aumento de combustible". La carrera de la cremallera de regulación puede ser controlada por la posición y por la forma de la leva del tope con leva perfilada.

Una leva de perfil especial permite que el regulador continúe el suministro de combustible adicional incluso cuando el régimen de la bomba aumenta.

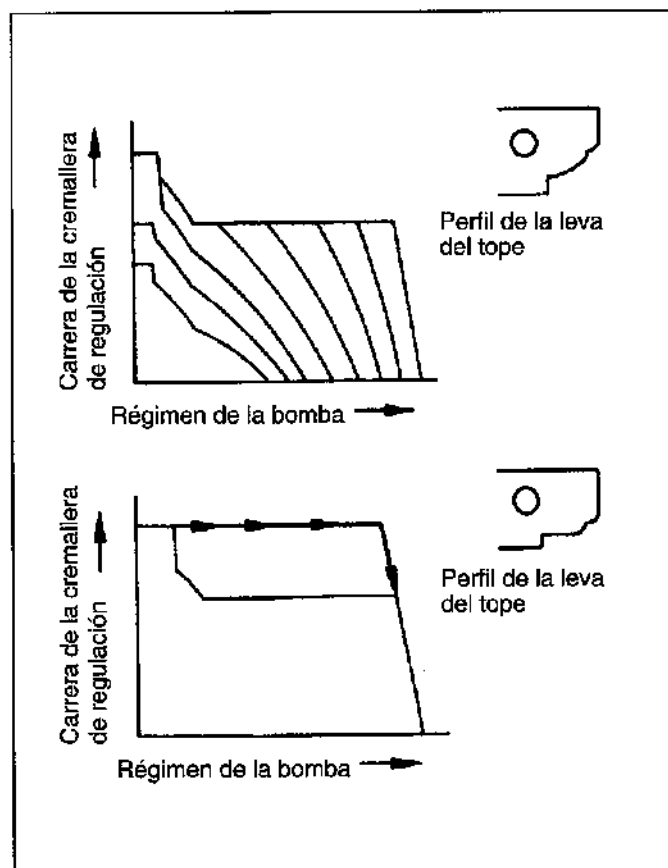


Figura 4-65 Carrera de la cremallera de regulación durante el arranque

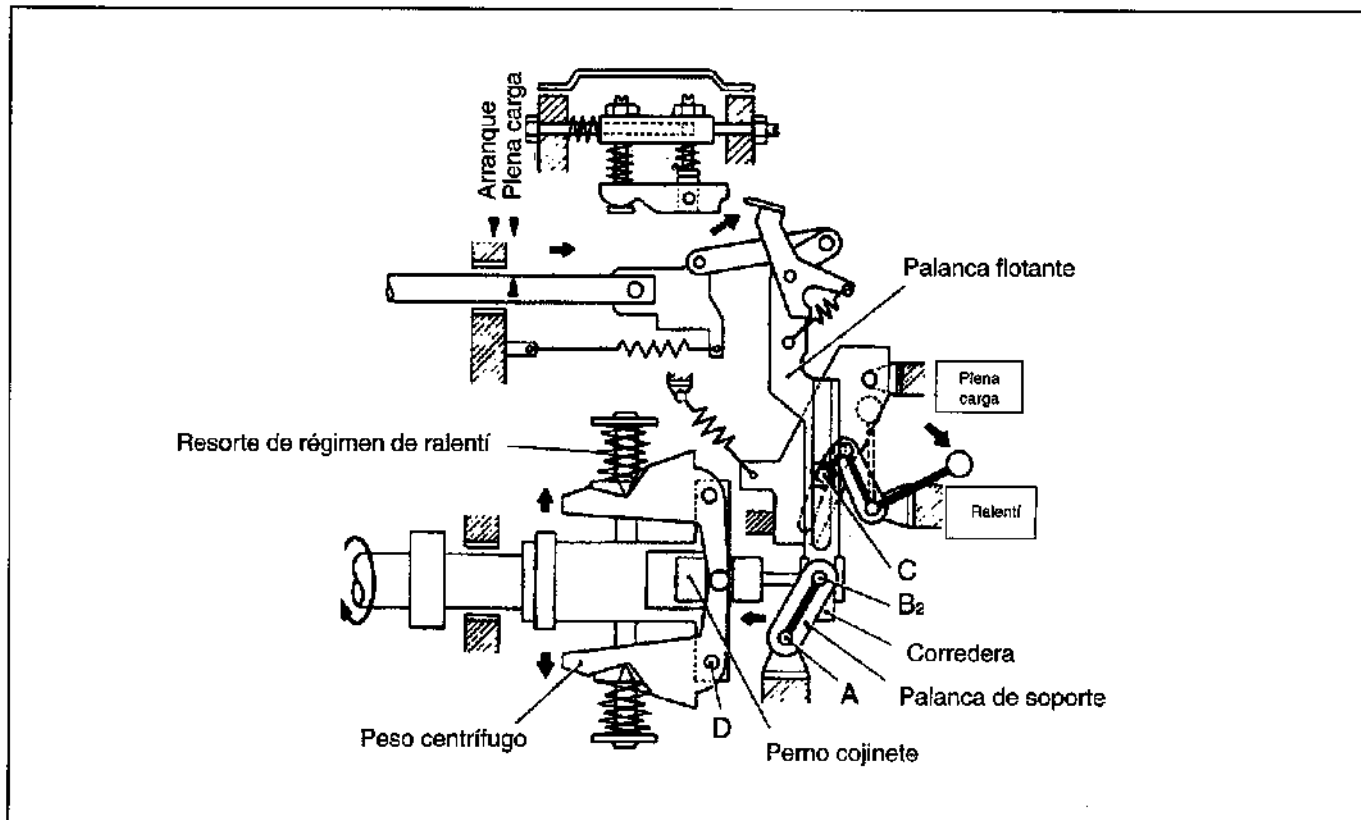


Figura 4-66 Regulación del régimen de ralentí

b. Regulación del régimen de ralentí

1) Regulador tipo R801

El régimen de ralentí es controlado de dos maneras: mediante un resorte instalado en el peso centrífugo (tipo standard), y por un tercer resorte de régimen de ralentí.

① Tipo standard

Cuando la palanca de ajuste es llevada a la posición de régimen de ralentí después del arranque del motor, el bloque deslizante en la palanca flotante se desliza hacia arriba a lo largo de la ranura del disco de leva. La palanca flotante pivotea en el punto B2 en el sentido de las agujas del reloj. A su vez, este movimiento retrae la cremallera de regulación hacia su posición de régimen de ralentí y el brazo de la palanca deja de estar en contacto con el tope con perfil de leva.

Si el régimen de velocidad del motor excede un régimen prescrito, los pesos centrífugos oscilan separándose y esto es causa de que el perno cojinete se desplace hacia la izquierda. Consecuentemente, hace que el punto B gire alrededor del punto A pasando de la posición B2 a la posición B3 (Refiérase a la figura 4-73). La palanca flotante gira —alrededor del punto C— en el sentido de las agujas del reloj, y entonces retrae la cremallera de regulación hacia la posición de régimen de marcha en vacío para así disminuir el régimen del motor.

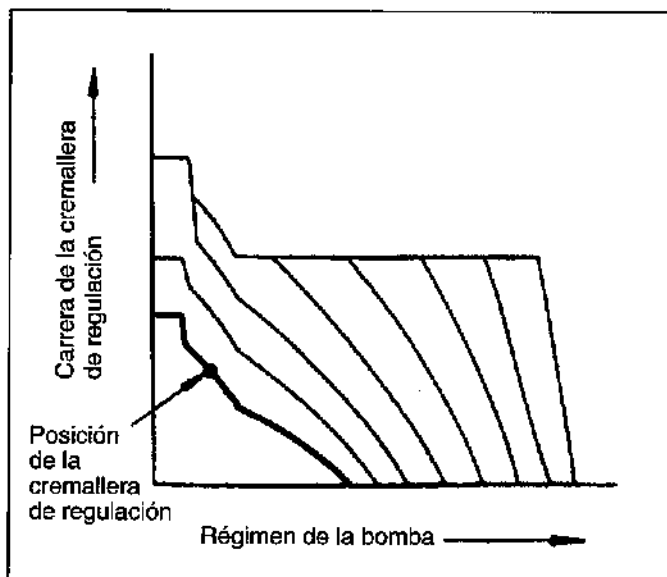


Figura 4-67 Carrera de la cremallera de regulación durante el régimen de ralentí

Cuando el régimen de ralentí baja, la cremallera de regulación es también retraída hasta su posición original de régimen de ralentí, pero según el procedimiento inverso al anteriormente descrito. De esta manera, el régimen de ralentí de un motor es mantenido al régimen de ralentí predeterminado.

② Tipo tercer resorte de régimen de ralentí

El régimen de la bomba aumenta y cuando los pesos centrífugos se abren, el perno cojinete entra en contacto con el tercer resorte de régimen de ralentí. El tercer resorte de régimen de ralentí suministra regulación durante el lapso de tiempo que transcurre entre el momento cuando el régimen de la bomba aumenta y el momento del accionamiento del resorte de regulación. Debido a que el tercer resorte de régimen de ralentí ahora efectúa la regulación del segmento antes regulado por el resorte de regulación, las fluctuaciones de régimen de velocidad, causadas por el segmento de velocidades concernido, han sido reducidas.

La adición del tercer resorte de régimen de ralentí ha modificado la curva característica del regulador indicada por la línea continua pasando a la curva indicada por la línea quebrada mostrada en el gráfico de la figura 4-69.

2) Regulador tipo R901

Los resortes instalados en el interior del peso centrífugo regulan el régimen de marcha lenta o ralentí.

La carrera de la cremallera de regulación durante el régimen de ralentí en el regulador tipo R901 es idéntica a la del regulador tipo R801 con el tercer resorte de régimen de ralentí.

(Refiérase a la sección 1) ②)

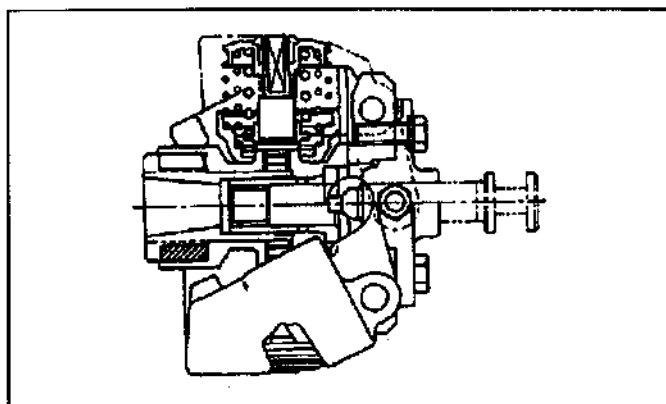


Figura 4-68 Peso centrífugo y resortes standard

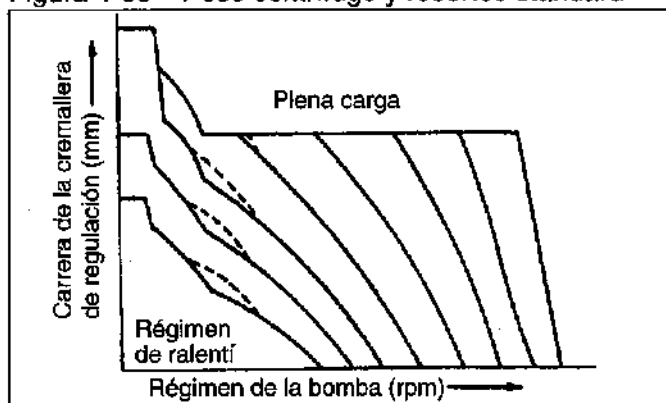


Figura 4-69 Carrera de la cremallera de regulación durante el régimen de ralentí (con el tercer resorte)

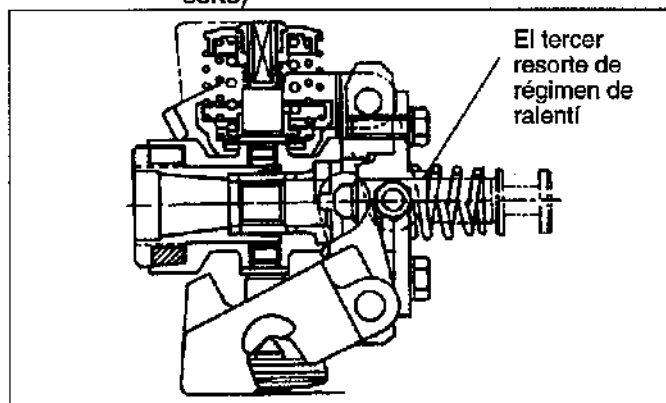


Figura 4-70 Peso centrífugo con el tercer resorte de régimen de ralentí

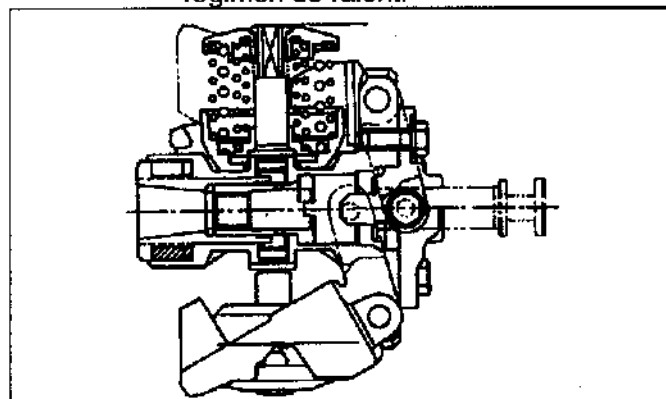


Figura 4-71 Peso centrífugo y resortes del regulador tipo R901

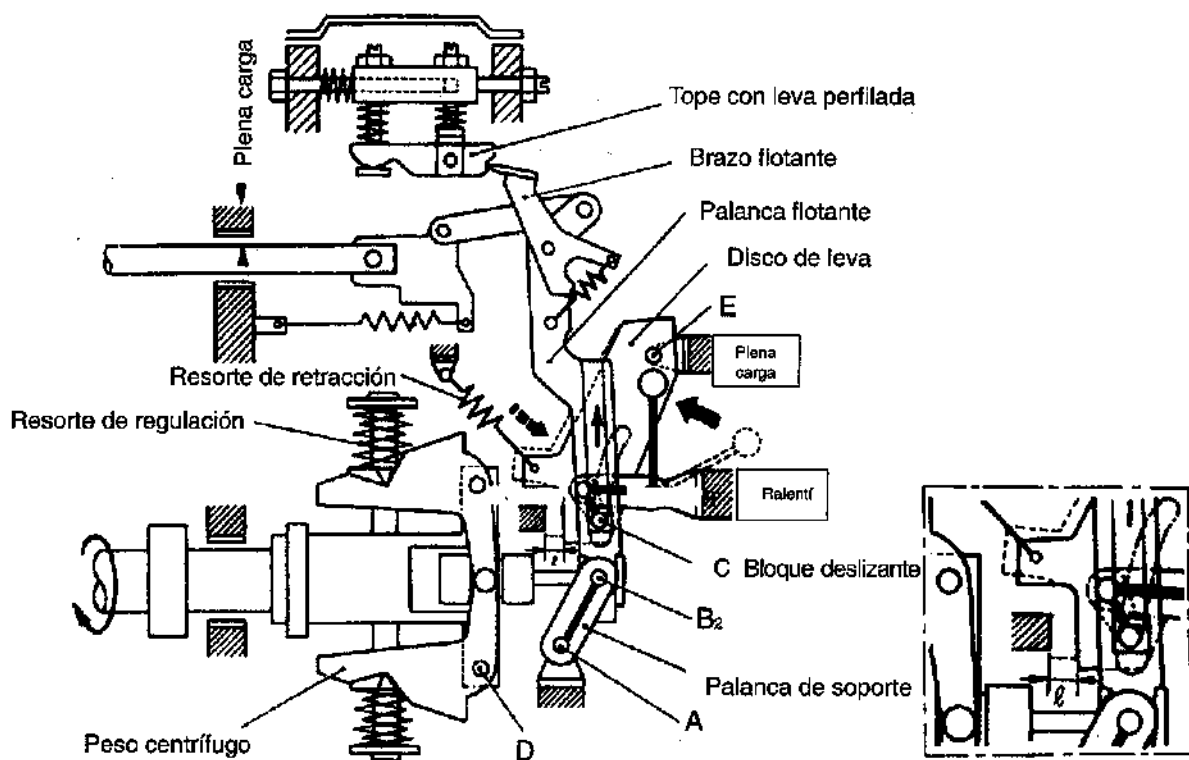


Figura 4-72 Palanca de ajuste desplazada desde la posición "régimen de ralentí" a la posición de "plena carga"

c. Desplazamiento de la palanca de ajuste hacia la posición "plena carga"

Cuando la palanca de ajuste es desplazada desde la posición de "régimen de ralentí" a la posición de "plena carga", el bloque deslizante se desplaza y desliza en la palanca flotante y a lo largo de la ranura en la leva. Esto hace que la palanca flotante gire —en el punto B (no en el punto B₂)— en el sentido contrario al de las agujas del reloj y desplace la cremallera de regulación en el sentido del "aumento de combustible" hasta que el brazo flotante entre en contacto con el tope con leva perfilada.

Si la palanca de ajuste gira aún más, entonces el bloque deslizante se desplaza hacia abajo y esto es causa de que el disco de leva gire —en el punto E— en el sentido contrario al de las agujas del reloj. (En la figura 4-74, el disco de leva gira desde su posición indicada con línea de puntos hasta su posición indicada con línea continua.)

Durante el funcionamiento anterior de la palanca de ajuste, el disco de leva está separado de su tope, y entonces se forma un espacio "I" que separa el tope del disco de leva. Esta separación "I" contribuye a la regulación continua, de todos los regímenes de velocidad.

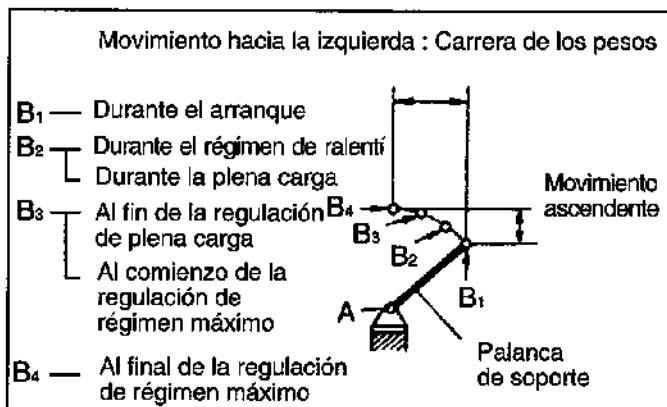


Figura 4-73 Desplazamiento del punto "B" en la palanca de soporte

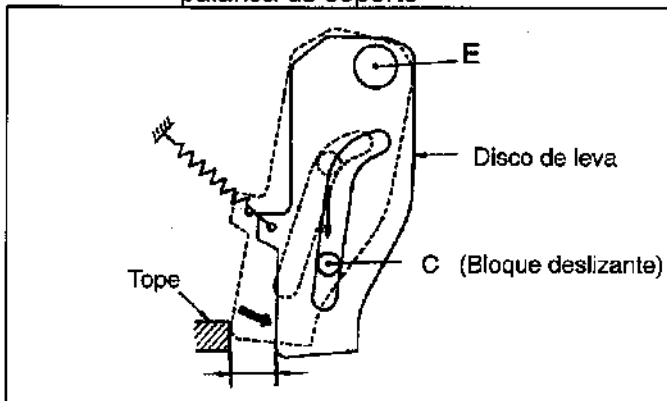


Figura 4-74 Desplazamiento del disco de leva

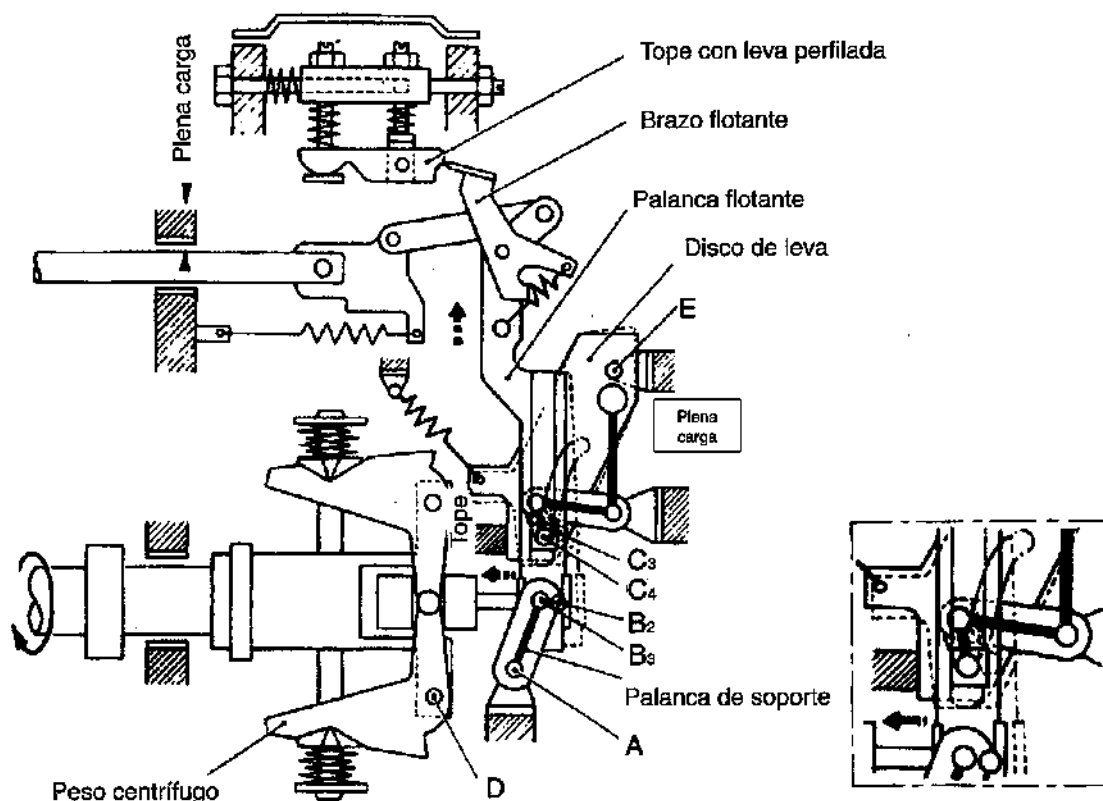


Figura 4-75 Regulación de regímenes medios en condiciones de plena carga

d. Regulación de regímenes medios en condiciones de plena carga

A medida de que el régimen de la bomba aumenta, con la palanca de ajuste en la posición de plena carga, los pesos centrífugos o masas se desplazan hacia afuera e incrementan la fuerza centrífuga producida y comprimen los resortes de régimen de ralenti y los resortes de regulación. La palanca de soporte gira en el sentido contrario al de las agujas del reloj para desplazar el punto "B" de su posición "B2" a la posición "B3". Este movimiento es transferido a la palanca flotante que hace que el disco de leva gire —en el punto E— en el sentido de las agujas del reloj y esto reduce la separación "I".

Al mismo tiempo, el movimiento de la palanca flotante levanta el brazo flotante para seguir el perfil de la leva del tope con leva perfilada. La cremallera de regulación sigue el movimiento del brazo flotante.

La regulación de plena carga realizada por el tope con perfil de leva continúa hasta que el disco de leva entra en contacto con su tope, o bien hasta que la palanca de soporte es cambiada de la posición "B2" (posición indicada por la línea de puntos) a la posición "B3" (posición indicada por la línea llena), como está indicado en la figura 4-75.

Debe tomarse en consideración el hecho de que las características del regulador están determinadas por la forma del perfil de la leva del tope con leva perfilada.

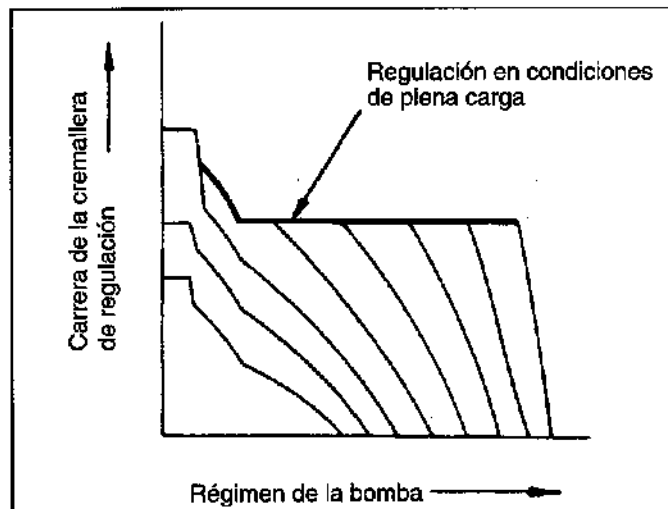


Figura 4-76 Carrera de la cremallera de regulación en condiciones de plena carga

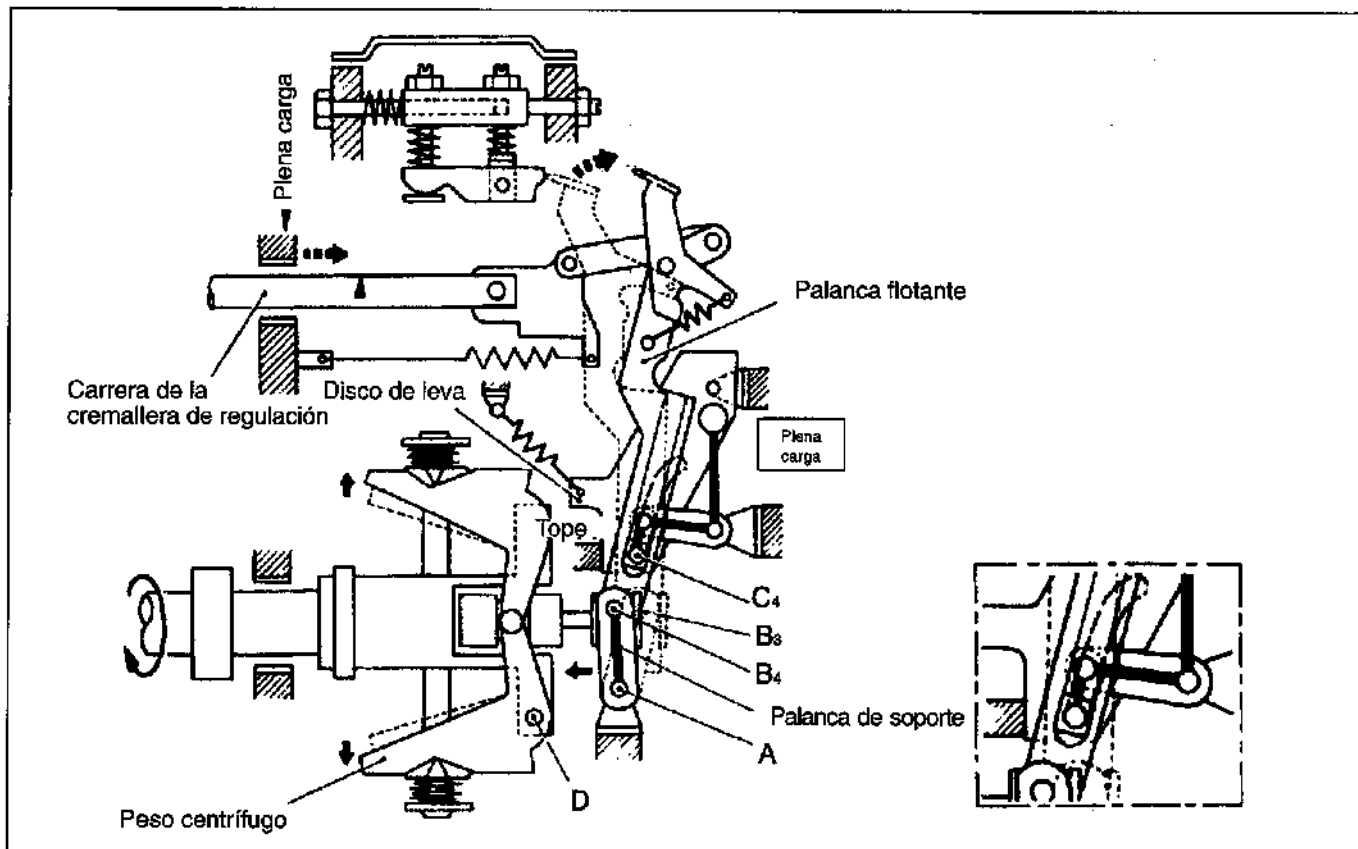


Figura 4-77 Regulación del régimen máximo

e. Regulación del régimen máximo

Si el régimen de la bomba llega al valor "N₅", la palanca de soporte pivotea a la posición "B₃", el disco de leva entra en contacto con el tope y es fijado en el punto "C₄".

Si el régimen de la bomba aumenta aún más esto hará que la palanca de soporte gire y pase de la posición "B₃" a la posición "B₄", lo que hará que —en el punto "C₄"— la palanca flotante pivotee en el sentido de las agujas del reloj y que el brazo flotante deje de estar en contacto con el tope de leva perfilada. Por consiguiente, hará que la cremallera de regulación se mueva en el sentido de la "disminución de combustible" lo que evitará que el motor funcione a un régimen de velocidad que exceda el límite máximo permisible.

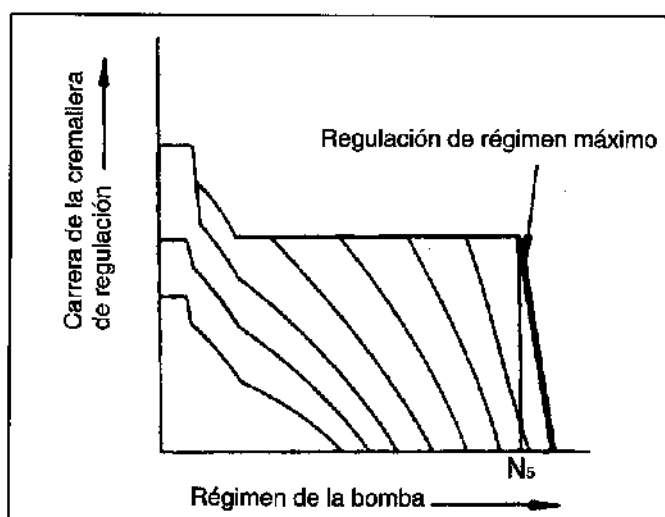


Figura 4-78 Carrera de la cremallera de regulación durante la regulación del régimen máximo

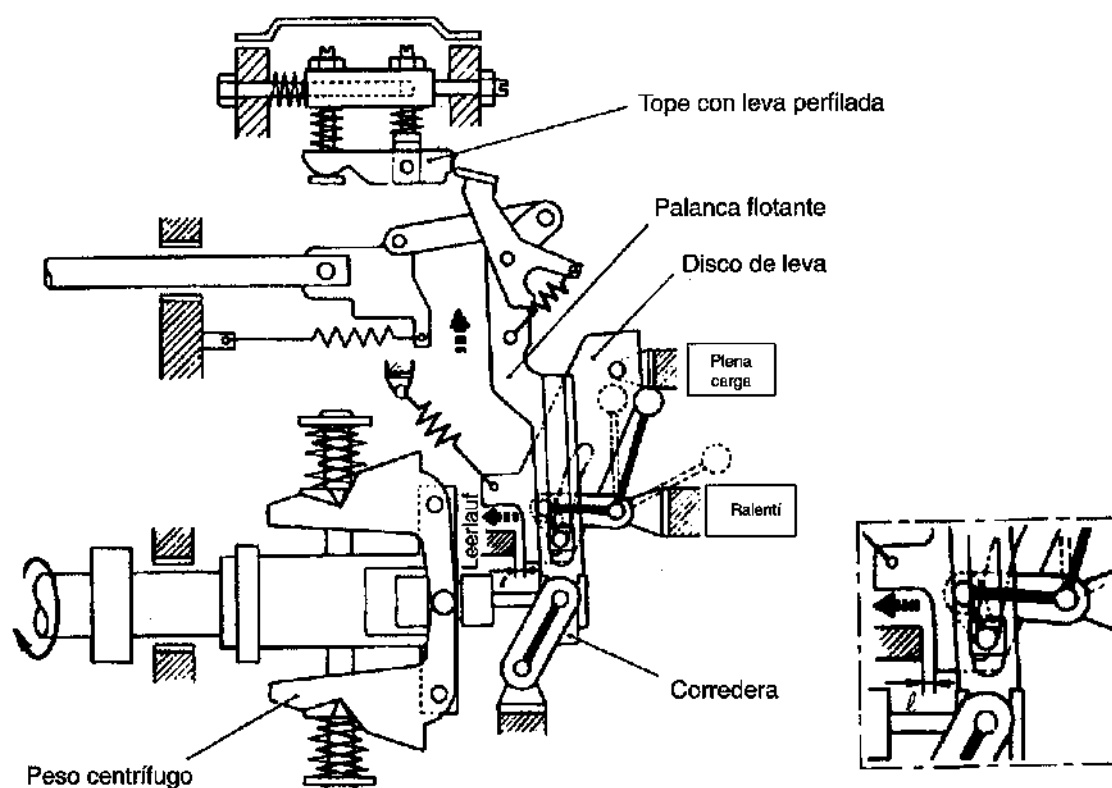


Figura 4-79 Regulación en condiciones de carga parcial

f. Regulación en condiciones de carga parcial

Cuando la palanca de ajuste es colocada en cualquier posición intermedia entre el "régimen de ralenti" y la "plena carga", la separación "I" entre el tope de detención y el disco de leva es inferior a la separación "I" en la posición "plena carga". Consiguientemente, si el régimen de la bomba aumenta, el disco de leva entrará más pronto en contacto con el tope, y la cremallera de regulación reaccionará como si se tratara de una plena carga.

Por consiguiente, el régimen al que la cremallera de regulación comienza a ser movida cambia en función de la posición donde está fijada la palanca de ajuste. El regulador puede entonces funcionar como un regulador de regulación continua.

La relación de palanca de la palanca flotante también puede cambiar en función de la posición de la palanca de ajuste. Así por ejemplo, disminuye a medida de que la palanca de ajuste es desplazada hacia la posición de régimen de ralenti, o marcha en vacío, y la disminución del régimen se amplifica.

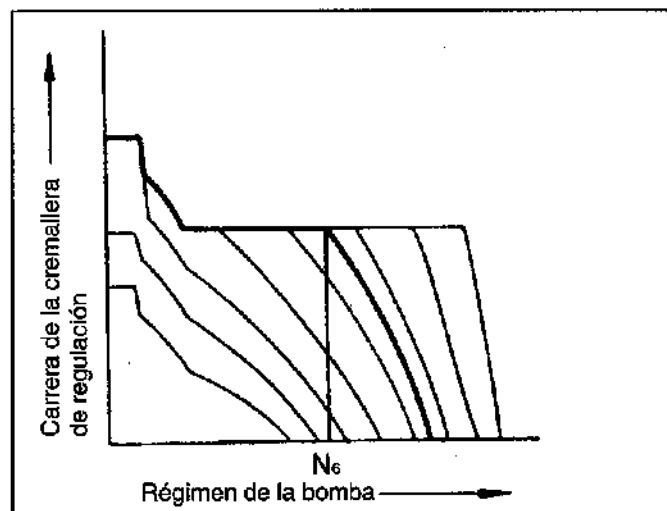


Figura 4-80 Carrera de la cremallera de regulación en condiciones de carga parcial

g. Carrera de la cremallera de regulación y carrera del peso centrífugo

La figura 4-81 muestra la relación entre la carrera de la cremallera de regulación (representada por una línea continua) y la carrera del peso centrífugo (representada por una línea de puntos) con respecto al régimen de la bomba. La "carrera del peso centrífugo" designa la distancia que el perno cojinete —que está conectado mediante el perno de unión a los pesos centrífugos— recorrerá debido a la influencia de la fuerza centrífuga generada por los pesos. Como referencia recordaremos que esta carrera aumenta con el incremento del régimen de la bomba.

1) Palanca de ajuste en la posición "RÉGIMEN DE RALENTÍ"

En el intervalo "A-B" de regímenes de velocidad, la tensión del resorte exterior de régimen de ralentí continúa siendo mayor que la fuerza centrífuga generada por los pesos. Por consiguiente, la carrera de los pesos es "cero". (En realidad, el resorte de arranque está actuando en el mismo sentido que el resorte de régimen de ralentí, pero su influencia es completamente despreciable.)

En el intervalo "B-C" de velocidades, la fuerza centrífuga generada por los pesos excede la tensión del resorte exterior de régimen de ralentí y por lo tanto la cremallera de regulación empieza a moverse.

En el intervalo "C-D-E", la carrera de la cremallera de regulación está controlada por la fuerza centrífuga generada por los pesos y es equilibrada por la tensión combinada de los resortes interior y exterior del régimen de ralentí, o marcha lenta. El punto "D" representa la velocidad del régimen de marcha en vacío de un motor, de acuerdo con las especificaciones del motor.

En el intervalo "E-F" de velocidades, la carrera de la cremallera de regulación está controlada por la fuerza centrífuga generada por los pesos y es equilibrada por la tensión combinada de los resortes interior y exterior del régimen de ralentí y la del tercer resorte del régimen de ralentí. La tensión del tercer resorte del régimen de ralentí es adicionada para contribuir a la aceleración o para evitar que el motor se cale.

En el intervalo "F-G", la carrera de la cremallera de regulación está controlada por la fuerza centrífuga generada por los pesos y es equilibrada por la tensión combinada de los resortes interior y exterior del régimen de ralentí, del tercer resorte del régimen de ralentí y del resorte de regulación.

2) Palanca de ajuste en la posición "RÉGIMEN DE PLENA CARGA"

En el intervalo "H-I" de velocidades, se suministra combustible adicional para el arranque del motor.

En el intervalo "I-J-K-L" de velocidades, el tope con perfil de leva determina la carrera de la cremallera de regulación. La modificación de la forma del perfil de la leva del tope con leva perfilada permite conseguir varias características de adaptación.

En el intervalo "M-N" de velocidades, la carrera de la cremallera de regulación está controlada por el resorte de control de modo que el régimen de velocidad no pueda exceder el límite máximo permisible.

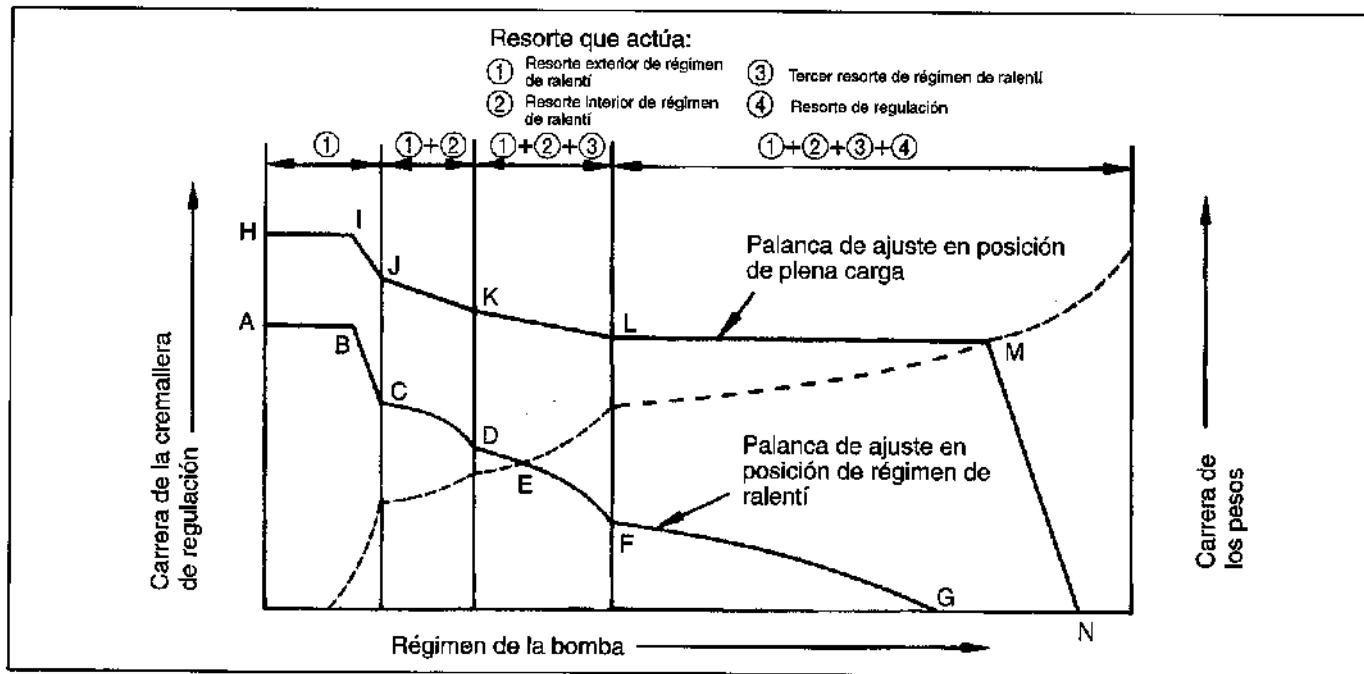


Figura 4-81 Carrera de la cremallera de regulación y carrera de los pesos

4-9. REGULADOR TIPO RSV

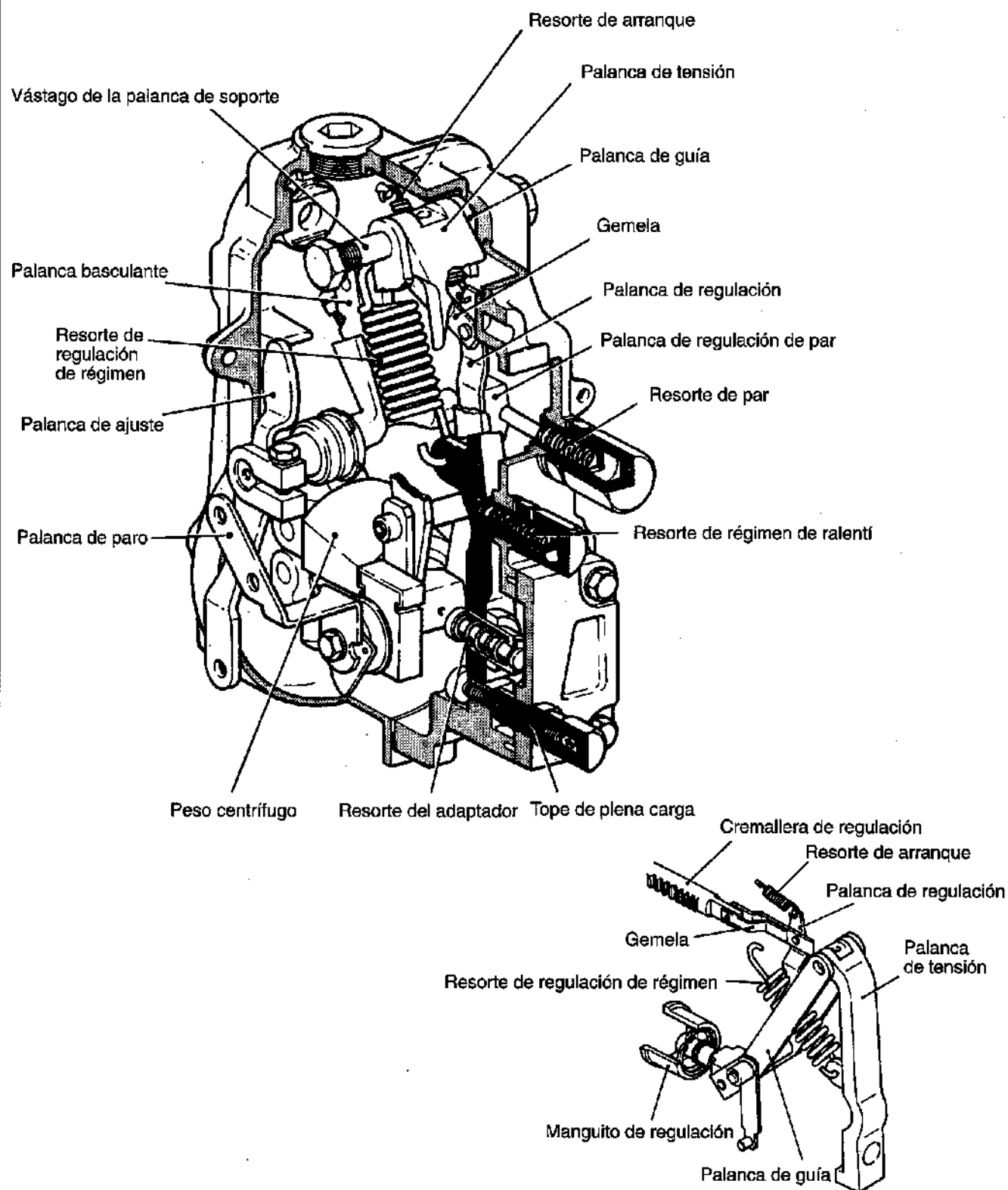


Figura 4-82 Construcción del regulador tipo RSV

(1) Palanca de paro del motor

Un regulador convencional no está equipado con un dispositivo de paro del motor como es la palanca de paro. Sin embargo, parar el motor con un esfuerzo mínimo requiere una palanca de paro con el fin de retraer la cremallera de regulación de la bomba de inyección a su posición de paro, independientemente de la posición de la palanca de ajuste. La palanca de paro también es indispensable para utilizar el tornillo de ajuste de paro como un tope para limitar el régimen de ralentí.

La figura 4-83 muestra la construcción del dispositivo de paro del motor, que tiene un acoplamiento flexible que incorpora un resorte o muelle de presión. Localizado entre el vástago de paro y la palanca de soporte, el acoplamiento flexible protege la articulación del regulador de la fuerza excesiva.

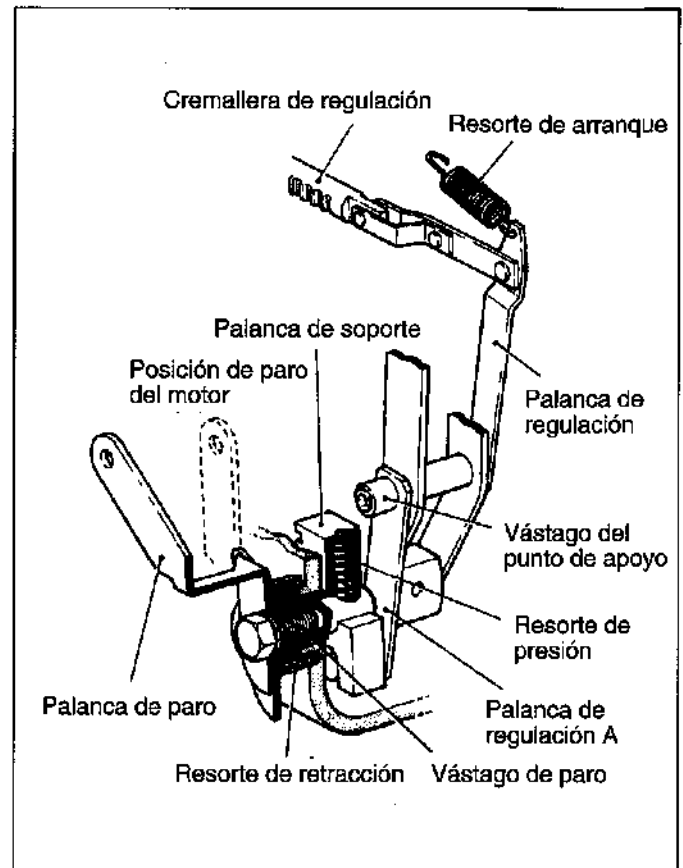


Figura 4-83 Construcción de la palanca de paro del motor

(2) Funcionamiento

a. Arranque del motor

Durante el arranque del motor o durante el régimen de marcha en vacío, el movimiento de la palanca de ajuste a la posición de arranque (hasta que entre en contacto con el tope de régimen máximo) hace que la palanca basculante tire del resorte de regulación hasta que la palanca de tensión entre en contacto con el tope de plena carga. La palanca de tensión mueve hacia la izquierda la palanca de guía, el bloque de regulación y el manguito del regulador, y esto permite que los pesos centrífugos permanezcan en el manguito del regulador. Al mismo tiempo, el resorte de arranque acciona la palanca de regulación moviéndola hacia la izquierda y esto hace que la cremallera de regulación llegue a la posición de arranque mediante el conjunto de gemela.

A medida de que el motor de arranque hace arrancar el motor, la bomba de inyección suministra el combustible suplementario que es necesario para el arranque del motor. Cuando el motor ya ha arrancado, la fuerza centrífuga generada por los pesos sobrepasa la fuerza del resorte de arranque. El resultado es que la cremallera de regulación vuelve a la posición en la que la fuerza centrífuga generada por los pesos y la tensión del resorte de regulación de régimen están en equilibrio.

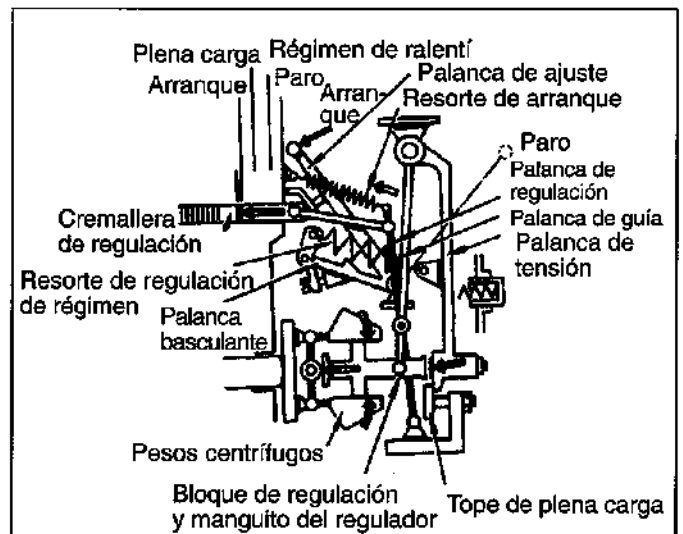


Figura 4-84 Arranque

b. Regulación de régimen de ralentí

El regulador funciona automáticamente cuando el motor gira en régimen de ralentí. Como lo muestra la figura 4-85, el resorte de regulación de régimen casi está en reposo cuando la palanca de ajuste está en la posición de régimen de marcha lenta. Por lo tanto, ya que los pesos centrífugos encuentran muy poca resistencia para abrirse hacia afuera—incluso a bajas velocidades—ellos hacen que el manguito del regulador y el bloque de regulación empujen la palanca de tensión hacia la derecha.

Debido a esta débil fuerza del resorte de regulación de régimen, la palanca de tensión se desplaza a la posición en que está en contacto con el resorte de régimen de ralentí, mientras comprime ligeramente el resorte del adaptador.

Por lo tanto, la palanca de control—que pivotea en el punto A—gira a la derecha y acciona la cremallera de regulación moviéndola a la posición en la que la fuerza centrífuga producida por los pesos y la tensión de los resortes (como el resorte de regulación de régimen y los resortes de régimen de ralentí) están en equilibrio. Como resultado de todo esto, la velocidad de ralentí deseada puede ser mantenida.

c. Regulación del régimen máximo

Cuando la palanca de ajuste está inclinada hacia la posición de plena carga (comprimida contra el tornillo de ajuste de régimen máximo), el resorte de regulación de régimen está completamente tensado. Sobrepasando la fuerza centrífuga de los pesos, la fuerza considerable del resorte de regulación de régimen acciona la palanca de tensión hasta colocarla contra el tope de plena carga.

Este movimiento es causa de que la cremallera de regulación se desplace hasta la posición de suministro máximo de combustible, y de este modo aumenta el régimen del motor.

Cuando la palanca de tensión es llevada contra el tope de plena carga, el resorte del adaptador permanece comprimido.

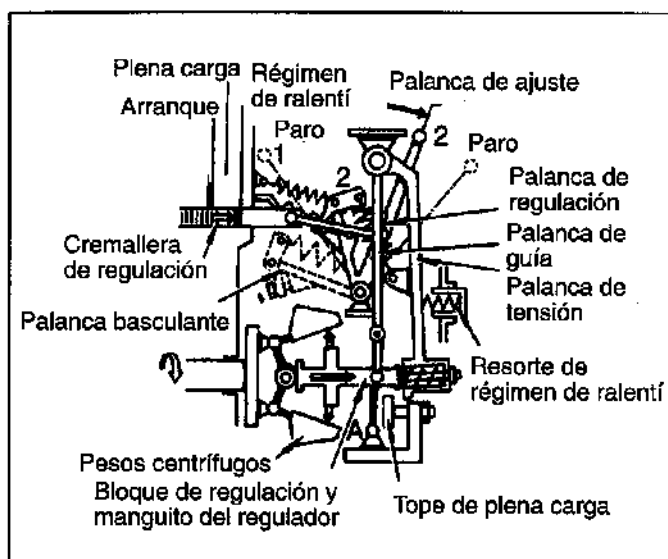


Figura 4-85 Régimen de ralentí

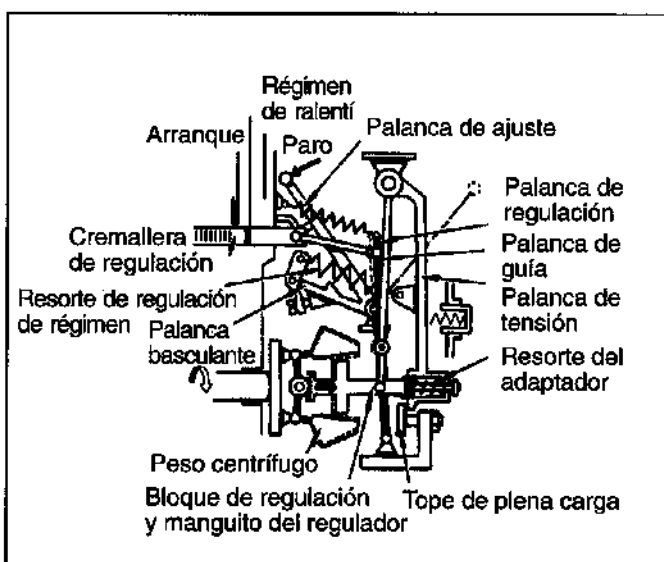


Figura 4-86 Comienzo de la regulación de régimen máximo

En este estado, cuando la carga del motor disminuye, la fuerza centrífuga generada por los pesos deviene mayor que la fuerza del resorte del bloque de regulación. Por lo tanto, la articulación del regulador mueve la cremallera de regulación en el sentido de la "disminución de combustible" para así evitar que el régimen del motor exceda el régimen máximo permitido.

Si el régimen de la bomba aumenta aún más, la fuerza centrífuga de los pesos aumenta y es causa de que la palanca de tensión comprima los resortes del régimen de ralentí. Como resultado, la cremallera de regulación se mueve a la posición de régimen máximo sin carga (es decir en el sentido de la "disminución de combustible"), lo que evita que el motor trabaje en régimen forzado.

De esta manera, el regulador RSV funciona mecánicamente de manera que—independientemente de la carga del motor— un régimen especificado del motor pueda ser mantenido ajustando la posición de la palanca.

d. Funcionamiento de resorte del adaptador

En el régimen máximo de regulación, si la carga del motor es reducida suficientemente, la fuerza del resorte del adaptador sobrepasa la fuerza centrífuga generada por los pesos y entonces desplaza la palanca de guía hacia la izquierda. El resultado es que la cremallera de regulación se desplaza en el sentido del "aumento de combustible", y permite el aumento del par motor en el intervalo de régimen bajo de velocidad.

A medida de que el régimen del motor aumenta gradualmente, la fuerza centrífuga generada por los pesos también aumenta y el resorte del adaptador comienza a ser comprimido lo que produce el desplazamiento de la cremallera de regulación hacia la "disminución de combustible". El funcionamiento del adaptador se interrumpe cuando el resorte del adaptador ha sido totalmente comprimido.

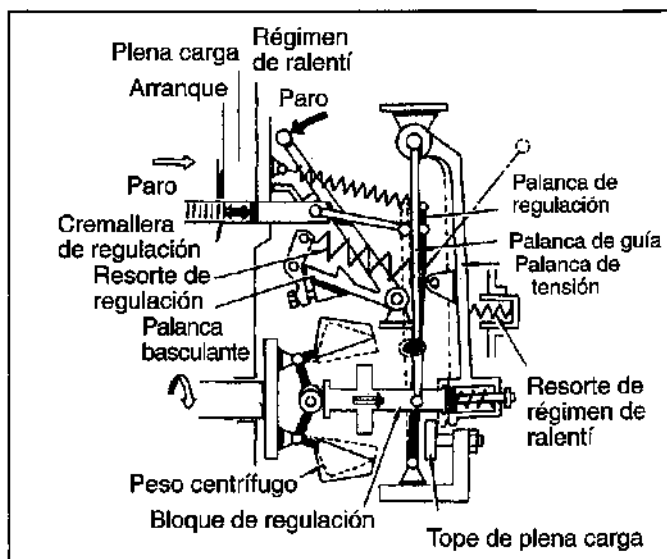


Figura 4-87 Disminución de la carga del motor

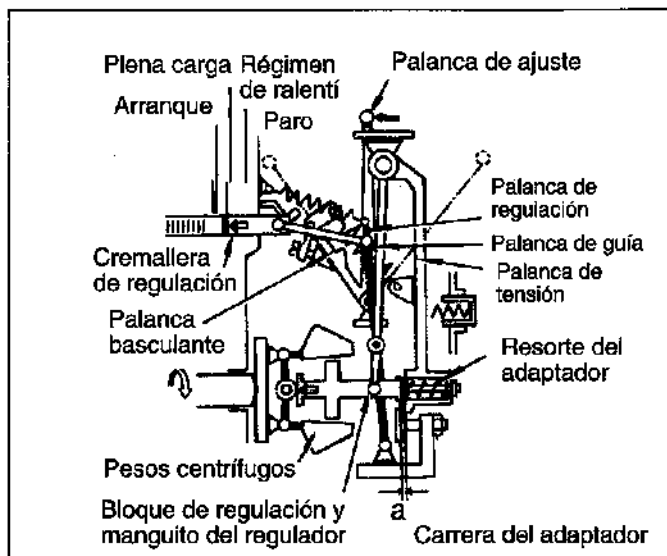


Figura 4-88 Funcionamiento del resorte del adaptador a regímenes bajos

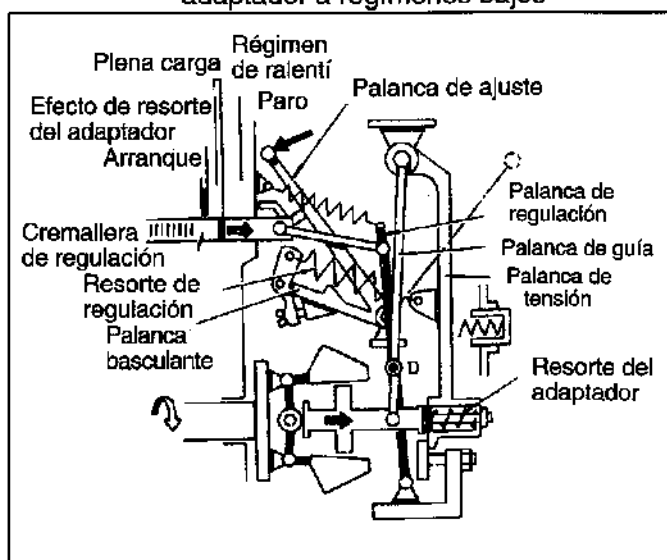


Figura 4-89 Funcionamiento del resorte del adaptador a regímenes elevados

e. Función del resorte del adaptador

Las funciones del resorte adaptador son: incremento del suministro de combustible, e incremento del par motor en el intervalo de regímenes bajos del motor. Cuando la cremallera de regulación está en una posición fija, el volumen de combustible suministrado por embolada aumenta a medida de que aumenta el régimen de la bomba de inyección. Esta es una característica solamente de la bomba de inyección tipo émbolo y de efecto simple. Por otra parte, a medida de que el régimen del motor aumenta el volumen del aire de admisión disminuye debido al incremento de la resistencia del flujo de aire.

La figura 4-91 muestra las necesidades de combustible del motor y el régimen del motor.

Cuando la cremallera de regulación está en la posición de plena carga, si el volumen de combustible suministrado está fijado al punto A (suministro del volumen de combustible suficiente a regímenes bajos), el volumen de combustible suministrado aumenta según la línea A-B' de manera proporcional al aumento del régimen del motor. La sobrealimentación que es el resultado de esto causa la emisión de humo a regímenes elevados.

Por otra parte, si el volumen de combustible suministrado es fijado al punto B (suministro del volumen de combustible adecuado a regímenes altos), a regímenes bajos el volumen de combustible suministrado disminuye. Y como resultado de esto, el par del motor no es suficiente a regímenes bajos.

Para evitar que el par del motor sea insuficiente a regímenes bajos (línea A'B), y haya emisión de humo a regímenes altos (línea AB'), las características de suministro de combustible deberían simular la característica de necesidades de combustible de la mejor manera posible.

El resorte del adaptador ha sido incorporado en el regulador justamente para poder satisfacer esta exigencia. Cuando la palanca de ajuste está en la posición de plena carga —si el régimen del motor baja a regímenes bajos— el resorte del adaptador aplica tensión en las articulaciones del regulador para aumentar la carrera de la barra reguladora de cremallera y esto permite que el motor suministre el par motor necesario en esas condiciones de funcionamiento.

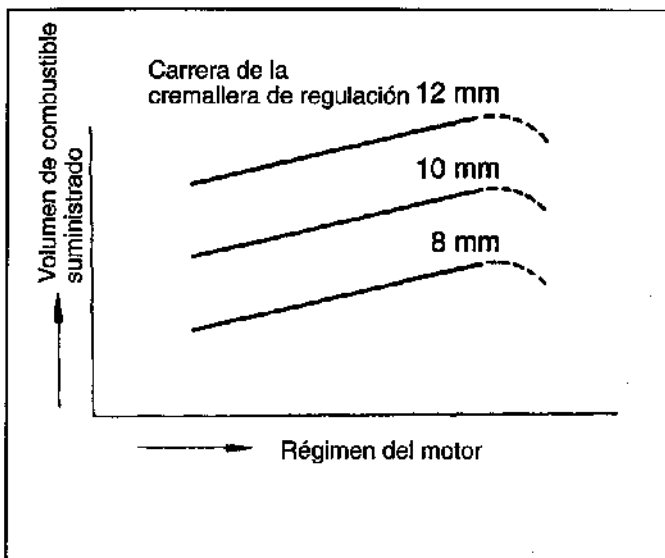


Figura 4-90 Relación entre el régimen del motor y el volumen de suministro de combustible

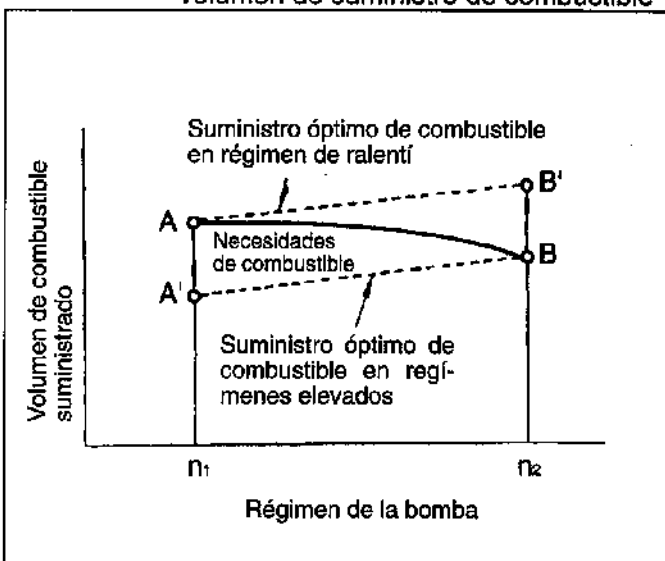


Figura 4-91 Necesidades de combustible y características de suministro

f. Paro del motor

Para parar un motor que no incorpora un mecanismo de paro, la palanca de ajuste debe ser movida y llevada a la posición de paro del motor, independientemente de la posición de los pesos centrífugos o masas del regulador (Refiérase a la figura 4-92).

Justo antes de que la palanca de ajuste llegue a la posición de paro del motor (antes de que el balancín de la palanca basculante entre en contacto con el tornillo de ajuste de paro), la protuberancia de la palanca basculante se aprieta contra la palanca de guía. Esta fuerza, que es transmitida mediante la palanca de guía a la palanca de regulación y al conjunto de gemela hace que la cremallera de regulación se desplace hasta la posición de paro del motor.

Además de las características antes descritas, para parar un motor —que utiliza un regulador que incorpora un dispositivo de paro— el funcionamiento de la palanca de paro fuerza el movimiento de la cremallera de regulación hacia la posición de paro, y esto se hace independientemente de la posición de los pesos centrífugos y de la posición de la palanca de regulación. Cuando la palanca de paro está en la posición de paro, ella empuja la cremallera de regulación y la desplaza hacia la posición de paro mediante la acción de la palanca de regulación, y esto hace que el motor se pare.

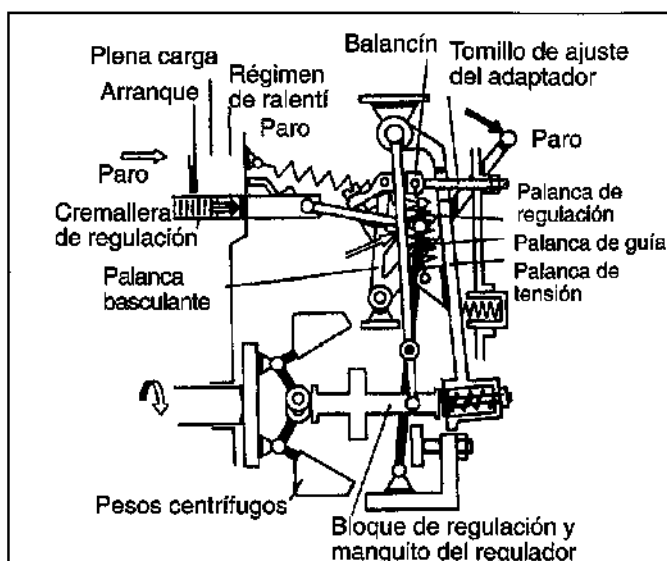


Figura 4-92 Utilización de la palanca de ajuste para parar el motor

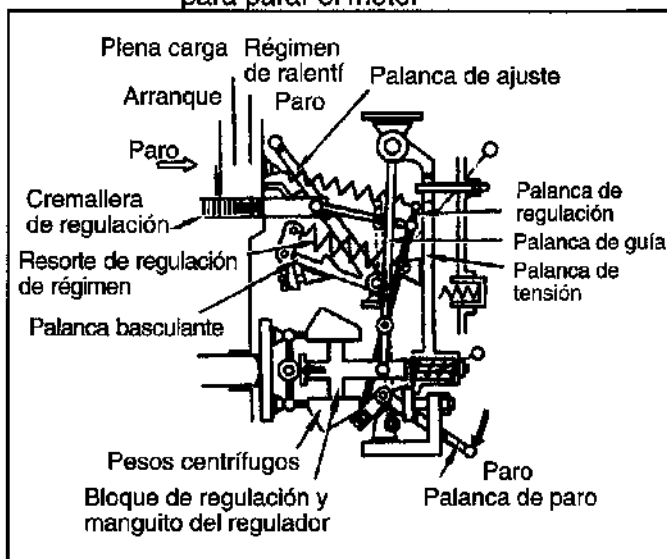


Figura 4-93 Utilización de la palanca de paro para parar el motor

g. Resorte de par

1) Motor diesel y bomba de inyección

En contraste con los motores de automóvil, los motores utilizados en el sector de la construcción son, casi siempre, utilizados en condiciones de plena carga. Debido a que la utilización del motor en tales condiciones puede acortar su vida útil, deben tomarse medidas para asegurarse de que el motor no funciona continuamente a su potencia útil máxima. Por esta razón, la posición de la palanca de ajuste está fijada a 85 % de la potencia útil máxima (potencia nominal de 1 hora). Esta potencia útil reducida, que es llamada potencia continua nominal (potencia nominal de 1 hora), es mostrada en la figura 4-94.

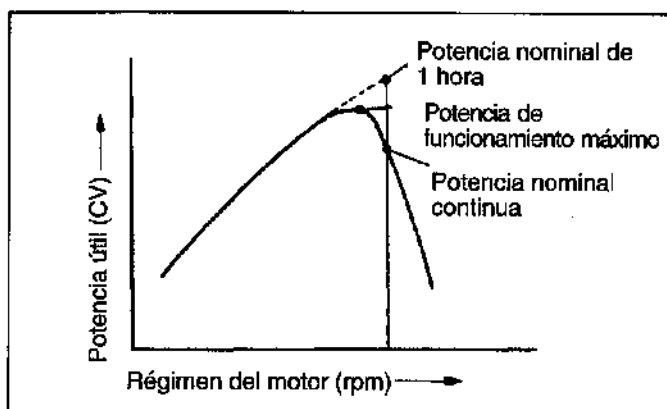


Figura 4-94 Rendimiento de la construcción del motor

2) Función del tornillo de par

Los motores del sector de la construcción están frecuentemente sometidos a repentinos aumentos de carga que hacen que el motor se cale. Para evitar que el motor se cale y se pare, se ha incorporado un tornillo de par en el regulador. Sin este tornillo de par, si la carga del motor aumenta repentinamente, el régimen de velocidad del motor baja del régimen nominal continuo A al régimen C, lo que causa la súbita disminución de la potencia útil. El resultado es que el motor se cala repentinamente.

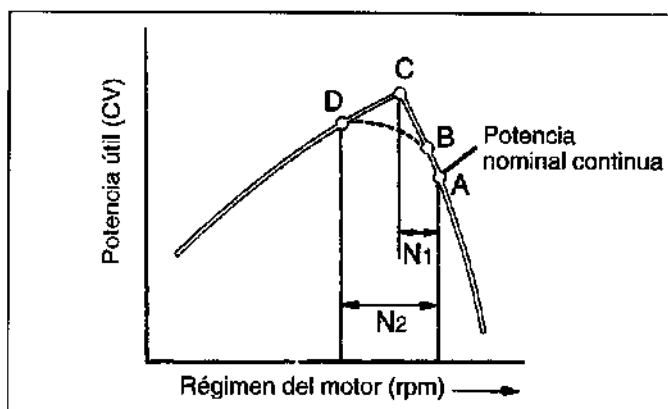


Figura 4-95 Rendimiento del motor

La función del tornillo de par es limitar el súbito cambio de funcionamiento del regulador haciendo más lento cualquier cambio de la posición de la cremallera de regulación. Así entonces, el régimen del motor disminuye gradualmente desde el régimen A al régimen B, hasta eventualmente llegar al régimen del punto D. Debido a que es necesario más tiempo para que el régimen del motor disminuya del régimen A al régimen D—cuando el regulador del motor está equipado con un tornillo de par—el operador al escuchar el sonido del escape puede notar el cambio súbito de la carga del motor. El operador podrá entonces tomar las medidas necesarias como, por ejemplo, pasar a un engranaje de menor velocidad de marcha para evitar que el motor se cale.

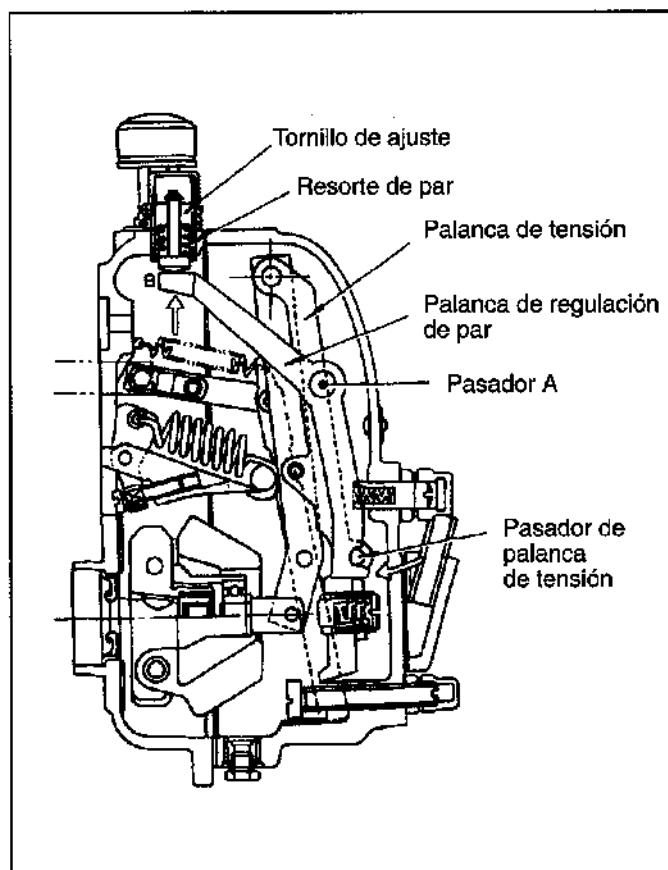


Figura 4-96 Construcción del resorte de par (1)

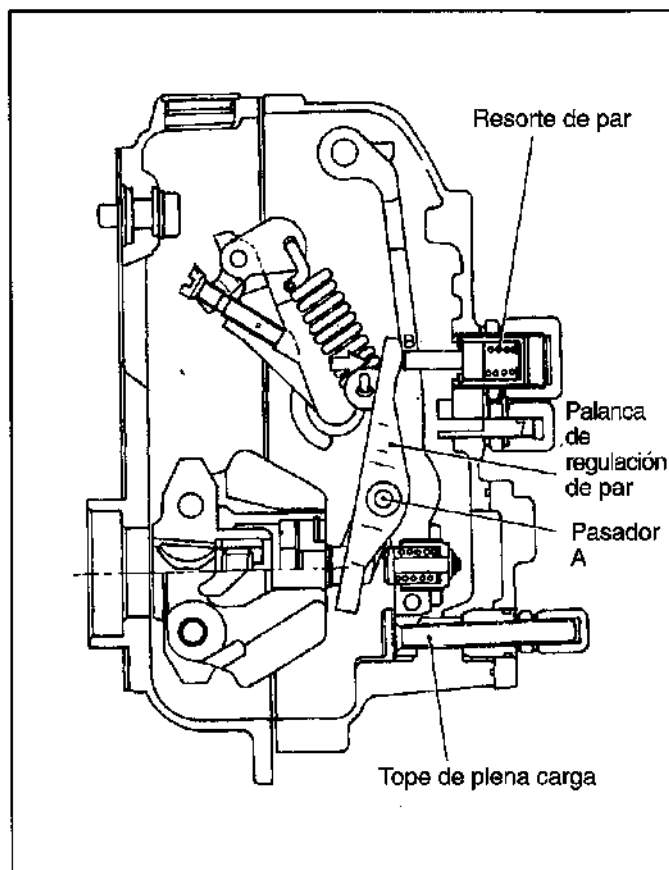


Figura 4-97 Construcción del resorte de par (2)

El resorte de par está instalado en la forma mostrada en las figuras 4-96, 4-97, y 4-98.

Como es mostrado en las figuras 4-96 y 4-97, la palanca de regulación de par —que pivotea en el pasador A— se engancha en el pasador de la palanca de tensión (localizado en el extremo inferior de la palanca de tensión) que está en contacto con el adaptador del resorte de par en el otro extremo de la palanca.

Cuando el motor está funcionando al régimen nominal continuo, si la carga del motor aumenta repentinamente, el régimen del motor disminuye. De consiguiente, los pesos centrífugos o masas del regulador se mueven hacia el interior y esto es causa de que el resorte de regulación de régimen mueva la palanca

de tensión hacia la izquierda. El resultado es que la cremallera de regulación se desplaza en el sentido del “aumento de combustible”. Al mismo tiempo, la palanca de regulación de par —que pivotea en el pasador A— comprime el adaptador del resorte de par. Entonces, el resorte de par resiste los movimientos de la palanca de regulación de par y de la palanca de tensión y esto hace más gradual y lento el movimiento de las articulaciones del regulador y de la cremallera de regulación.

Como es mostrado en la figura 4-98, el resorte de par aplica fuerza directa a la cremallera de regulación y hace que la cremallera de regulación se desplace en el sentido del “aumento de combustible”.

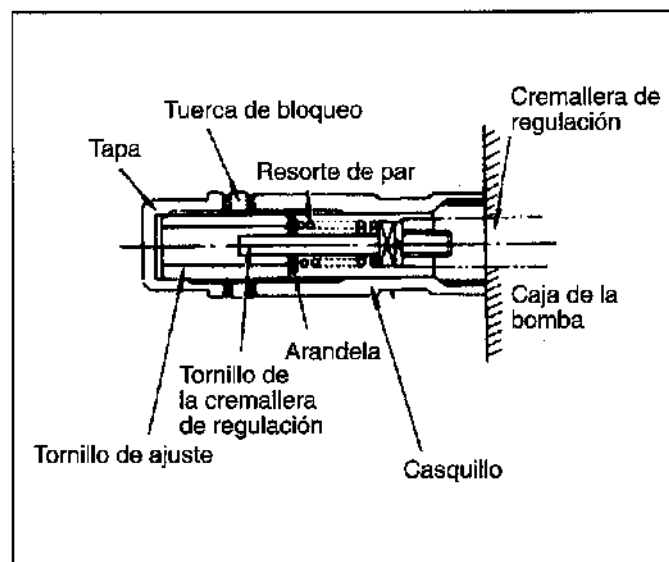


Figura 4-98 Construcción del resorte de par (3)

h. Curvas de las características del regulador

La curva superior de la figura 4-99 muestra las características de la regulación del régimen máximo durante la cual la palanca de ajuste está colocada en la posición de plena carga.

La línea A-B indica el momento del arranque del motor, cuando el resorte de arranque empuja la cremallera de regulación más allá de la posición de plena carga. A medida de que el régimen de la bomba aumenta a partir del intervalo de regímenes bajos, el bloque de regulación entra en contacto —en el punto B— con el resorte del adaptador.

La línea B-C indica que el régimen de la bomba es bajo, y debido a que la fuerza centrífuga generada por los pesos es más débil que la fuerza del resorte del adaptador, la cremallera de regulación no se mueve.

La línea C-D muestra que el régimen de la bomba aumentó ligeramente, lo que ha permitido que la fuerza centrífuga de los pesos sea mayor que la fuerza del resorte del adaptador.

En el punto D, el resorte del adaptador está completamente comprimido.

La cremallera de regulación permanece en la posición mostrada en el punto D hasta que la fuerza centrífuga de los pesos sea mayor que la fuerza del resorte de regulación de régimen, en el punto E, donde el régimen de la bomba llega al régimen nominal máximo.

Entonces, en el momento cuando se sobrepasa este punto, la carrera de la barra reguladora de cremallera disminuye repentinamente para impedir el trabajo forzado del motor.

En el punto F, el régimen de la bomba alcanza su nivel máximo sin carga.

La característica de la regulación de régimen de marcha en vacío es mostrada por la curva inferior de la figura 4-99, y en ella la palanca de ajuste está en la posición de régimen de marcha lenta.

En el punto de arranque, el resorte de arranque acciona la cremallera de regulación y la desplaza hacia la posición de arranque.

La línea H-I muestra que la fuerza del resorte de arranque contrarresta la fuerza centrífuga de los pesos.

La línea I-K muestra que el resorte de régimen de ralentí, conjuntamente con el resorte de arranque, contrarresta la fuerza centrífuga de los pesos.

En el punto J, el régimen de la bomba llega al régimen especificado de marcha lenta.

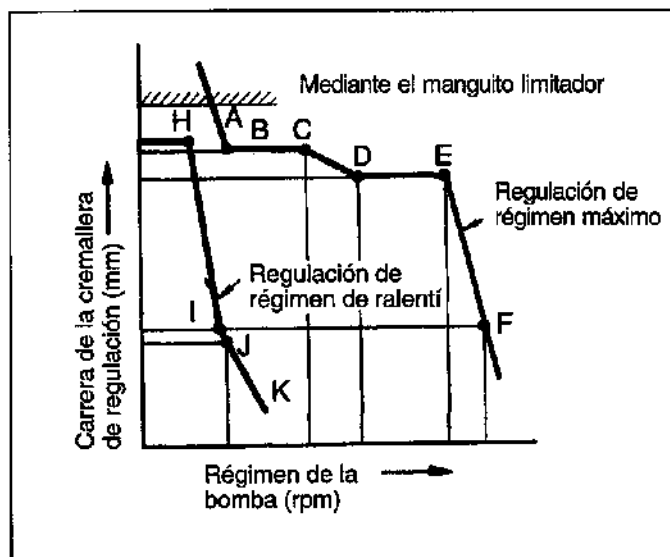


Figura 4-99 Curvas de las características del regulador RSV

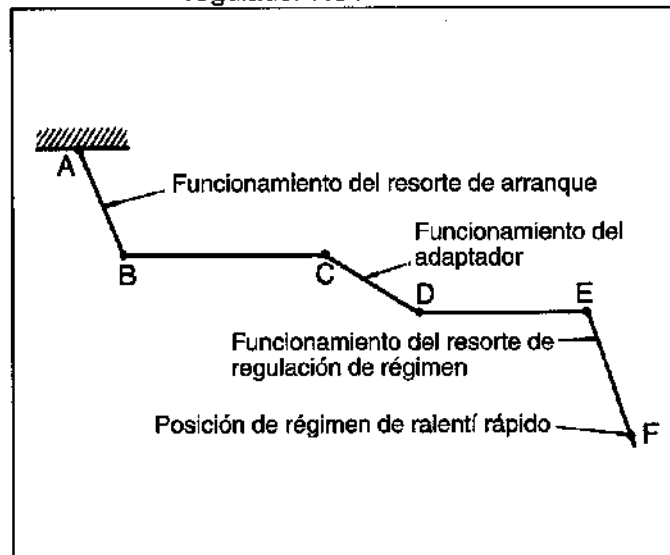


Figura 4-100 Regulación de régimen máximo

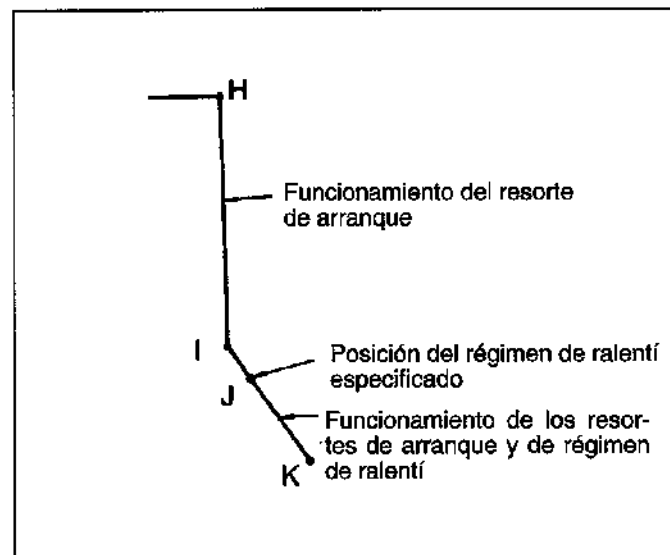


Figura 4-101 Regulación de régimen de ralentí

4-10. REGULADOR TIPO COMBINADO

Un regulador combinado incorpora las características del regulador neumático y las del regulador mecánico. Éste es un regulador de regulación continua —de todos los regímenes— que efectúa las regulaciones de los reguladores neumático y mecánico en los intervalos de régimen elevado, y que en otros intervalos de regímenes de velocidad del motor efectúa solamente las regulaciones propias del regulador neumático.

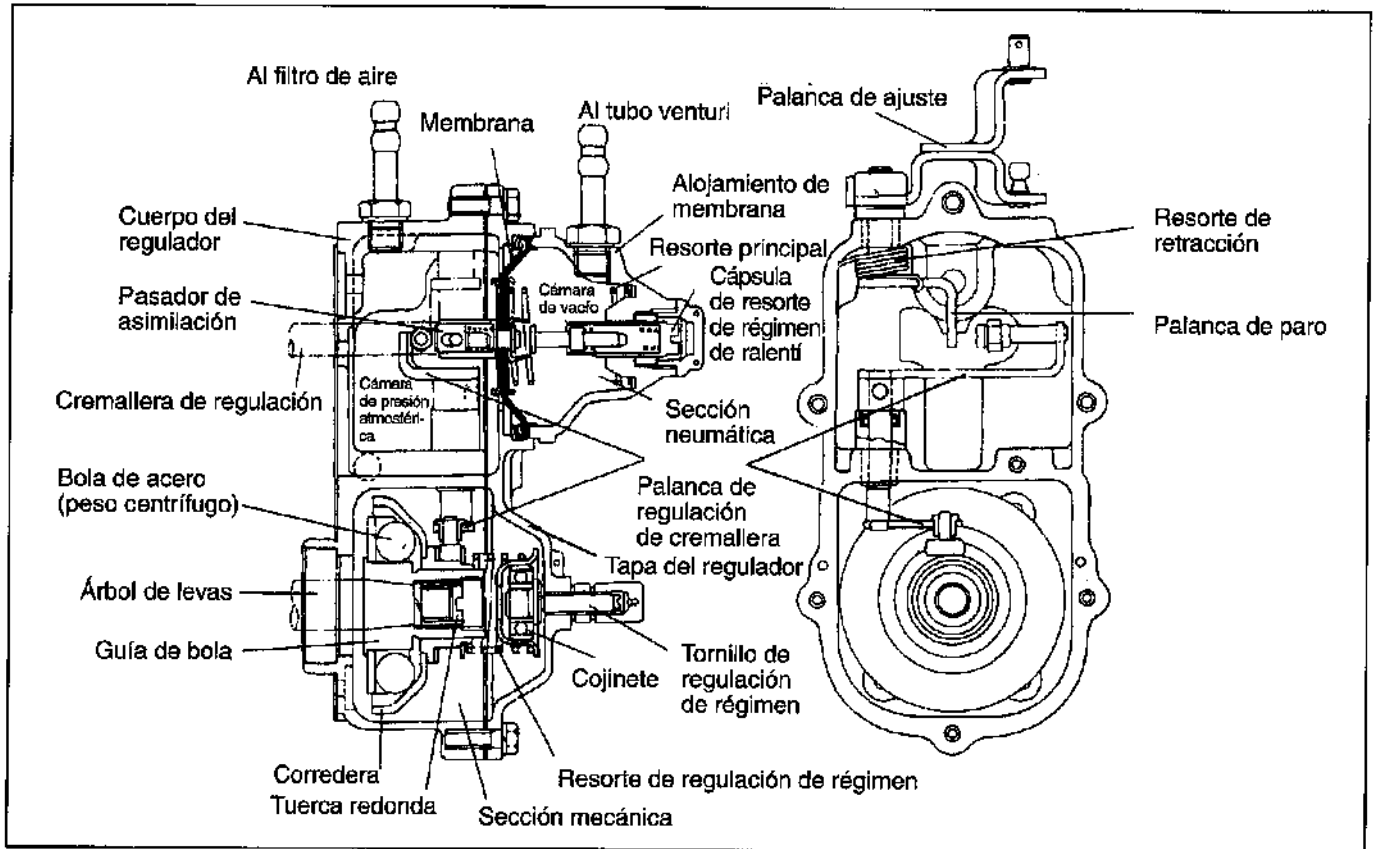


Figura 4-102 Construcción del regulador tipo combinado

En lo que se refiere a la regulación de los regímenes del motor comprendidos entre el régimen de ralentí y el régimen elevado, el funcionamiento del regulador combinado es idéntico al del regulador neumático convencional. Por consiguiente, en esta sección solamente se describe la regulación de régimen elevado en la que intervienen ambas secciones de la regulación —mecánica y neumática— de este regulador.

(1) Regulación de régimen elevado

Durante el funcionamiento a régimen elevado, cuando la fuerza centrífuga generada por las bolas de acero excede la fuerza del resorte de regulación de régimen de la sección mecánica, la corredera se desplaza hacia la derecha. Entonces, la corredera aplica fuerza—por intermedio de la palanca de regulación de la barra reguladora de cremallera— para accionar y comprimir el resorte principal de la sección mecánica del regulador. El resultado es que la cremallera de regulación es desplazada en el sentido de la “disminución de combustible”. En este momento, la palanca de regulación de la cremallera gira en la forma mostrada en la figura 4-104 para regular el desplazamiento de la cremallera de regulación.

Así entonces, el volumen de inyección disminuye y el régimen del motor disminuye consecuentemente. La fuerza centrífuga generada por las bolas de acero disminuye, la presión de vacío en la cámara de vacío baja, y ambas fuerzas se equilibran, finalmente, con las fuerzas de los resortes.

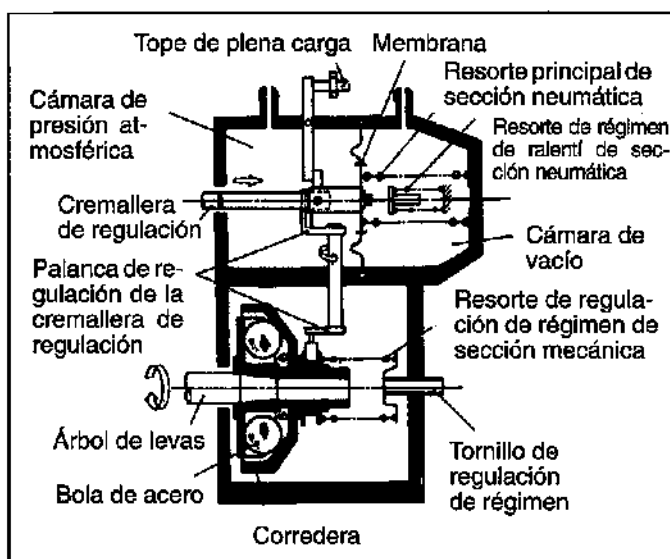


Figura 4-103 Principio del funcionamiento del regulador combinado

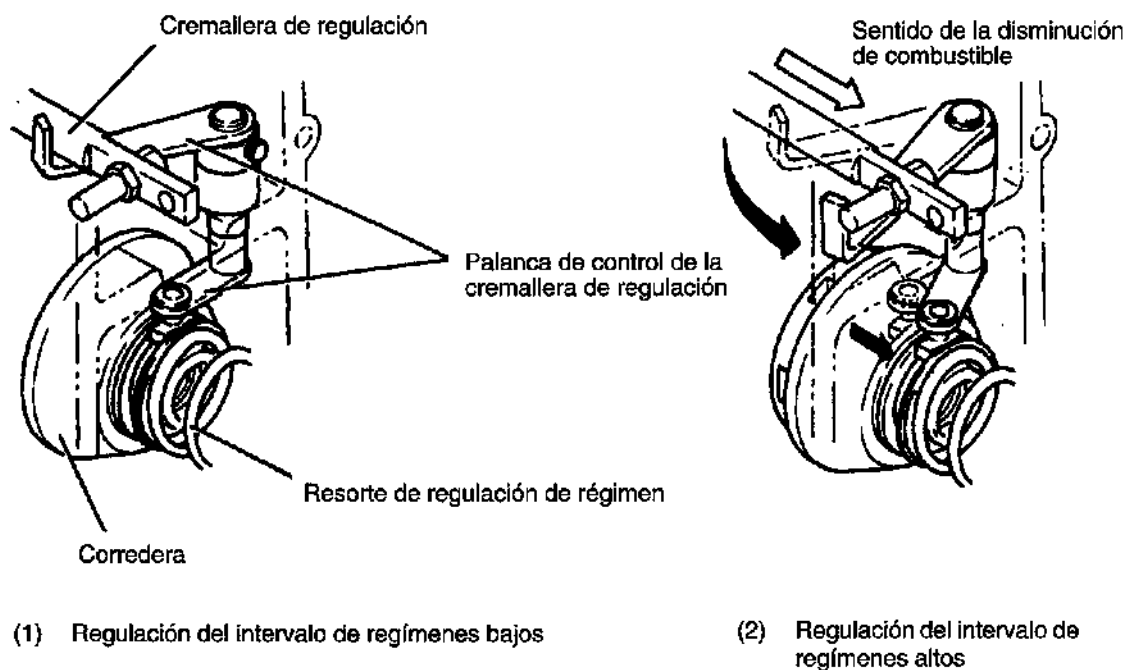


Figura 4-104 Funcionamiento de la sección mecánica

4-11. DISMINUCIÓN DE RÉGIMEN

Debido a que la regulación efectuada por el regulador depende del régimen de la bomba de inyección, el régimen máximo del motor en una posición determinada de la palanca de ajuste es ligeramente mayor en el estado sin carga que en el estado de plena carga.

Esta variación del régimen es denominada "factor de decremento del régimen", y puede ser expresado de la manera siguiente:

$$\text{Factor de decremento del régimen} = \frac{N_n - N_f}{N_f} \times 100 (\%)$$

Expresión en la cual:

N_n : Régimen máximo sin carga (rpm) en una posición determinada de la palanca de ajuste.

N_f : Régimen máximo de plena carga (rpm) en la misma posición de la palanca de ajuste que para N_n .

Ejemplo: Si el régimen máximo de plena carga es de 1.200 rpm y el régimen máximo sin carga es de 1.260 rpm, el factor de decremento del régimen será:

$$\frac{1.260 - 1.200}{1.200} \times 100 (\%) = 5 (\%)$$

El factor de decremento del régimen es una medida que representa la eficacia del regulador. Normalmente, mientras menor es el factor de decremento del régimen mayor es la eficacia del regulador. Sin embargo, debido al hecho de que es afectado por el rendimiento del motor, el factor de decremento del régimen no puede hacerse demasiado bajo.

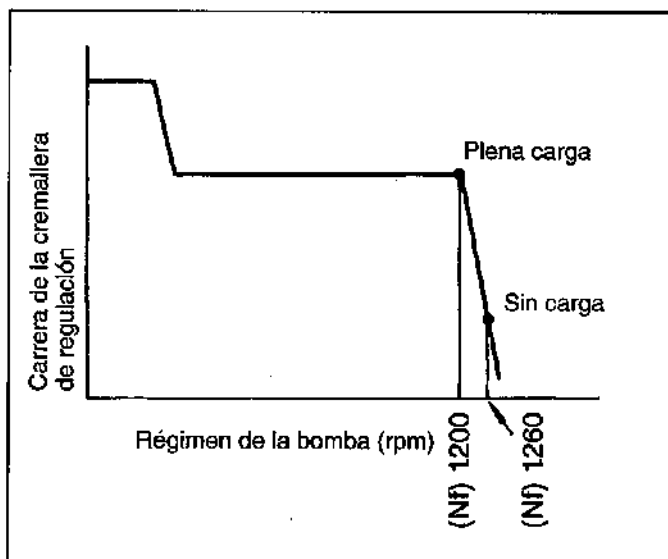


Figura 4-105 Ejemplo de un factor de decremento del régimen

5

BOMBA DE ALIMENTACIÓN

5. BOMBA DE ALIMENTACIÓN

5-1. DESCRIPCIÓN

Generalmente, el depósito de combustible y el motor de un automóvil con motor diesel están instalados separados uno del otro, y el depósito de combustible está colocado más bajo que la bomba de inyección. El filtro de combustible, que contiene papel de filtro de diminutos poros que impiden el paso de las impurezas extremadamente pequeñas, también opone cierta resistencia al flujo del combustible. Pero entretanto, la cámara de combustible de la bomba de inyección debe estar siempre llena de combustible.

Accionada por el árbol de levas de la bomba de inyección, la bomba de alimentación de combustible aspira combustible en el depósito o tanque de combustible. Entonces, la bomba de alimentación de combustible aplica la presión suficiente para que el combustible venza la resistencia del filtro de combustible y luego suministra combustible limpio a la bomba de inyección.

Las bombas de alimentación de combustible, tipo émbolo, que son utilizadas en las bombas de inyección en línea pueden ser clasificadas en las dos grandes categorías indicadas a continuación.

Tipo	Modelo	Aplicación
Tipo émbolo de simple efecto	KE KS	Tiene un émbolo de diámetro relativamente pequeño, y, durante el suministro de combustible, el volumen de inyección es relativamente pequeño.
Tipo émbolo de doble efecto	KD	Bomba grande con cilindros múltiples y un volumen de inyección elevado.

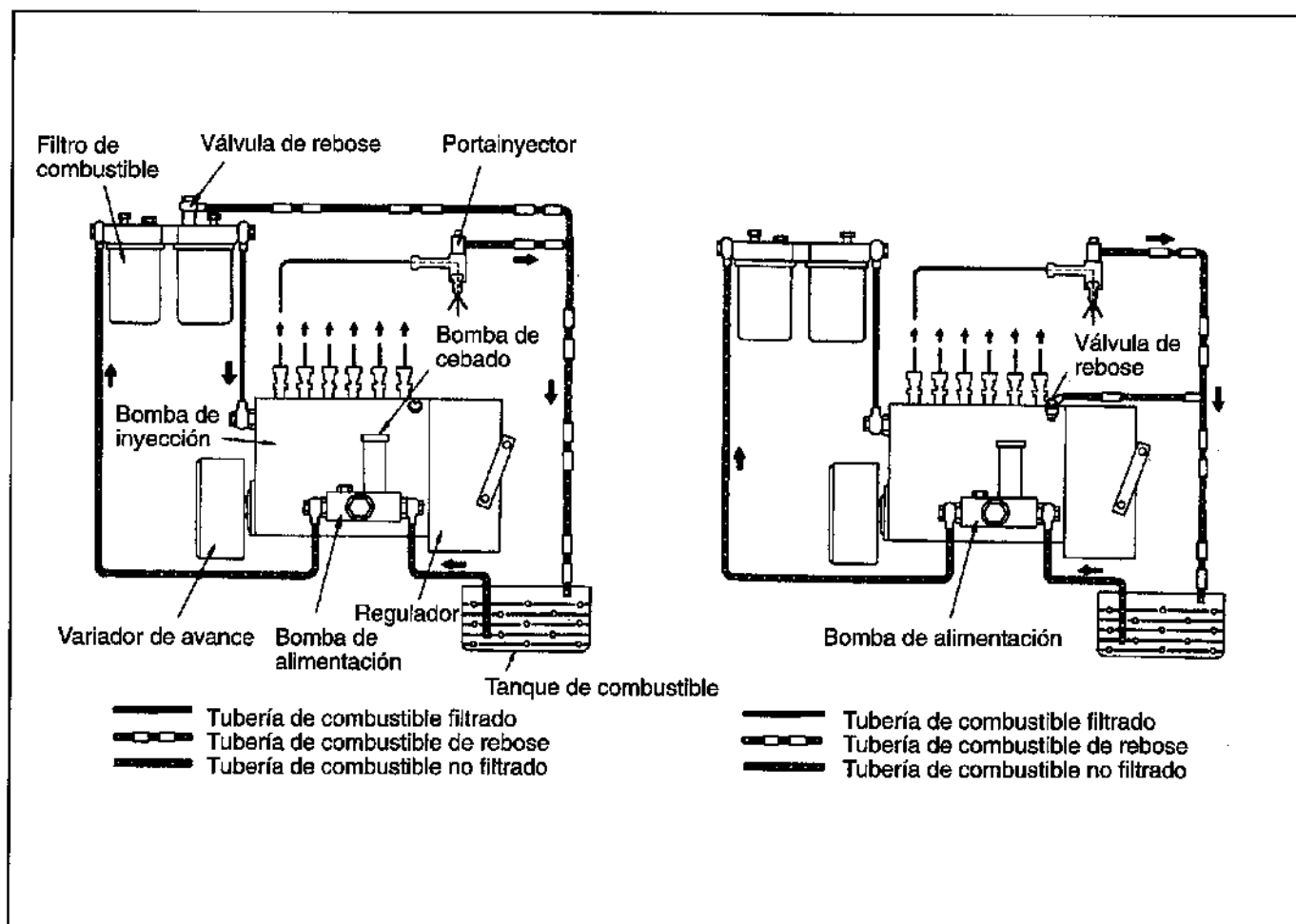


Figura 5-1 Diagrama del sistema de combustible

5-2. TIPO PISTÓN DE SIMPLE EFECTO

Hay dos tipos de bombas de simple efecto, los tipos KS y KE, y su utilización está determinada por el tipo de tuberías de combustible instaladas.

a. Tipo KS

El tipo KS es utilizado principalmente con las bombas de inyección tipo PES (montadas en brida de montaje vertical), que tienen un área relativamente pequeña para fijar las tuberías de combustible. La aspiración de combustible y las salidas de combustible están dispuestas verticalmente. (Refiérase a la figura 5-2 (1))

b. Tipo KE

El tipo KE es actualmente más utilizado en el Japón. En una bomba tipo KE, la aspiración de combustible y las salidas de combustible están dispuestas en lados opuestos. (Refiérase a la figura 5-2 (2))

(1) Construcción

Como es mostrado en la figura 5-3, una bomba de alimentación está constituida por las partes siguientes:

Una bomba de cebado manual para purgar el aire, y montada en la caja de la bomba de alimentación.

Una válvula de aspiración localizada debajo de la bomba de cebado y que es accionada en su sitio por un resorte.

Un émbolo instalado en el centro de la caja y que es accionado en su sitio por un resorte o muelle de émbolo.

Un tapón ciego que mantiene el resorte en su posición.

Un vástago de empuje situado en el lado opuesto al tapón ciego empuja el émbolo o pistón.

Un rodillo de empujador que empuja el vástago de empuje.

Una válvula de descarga que está instalada en el lado opuesto a la válvula de aspiración.

Así entonces, la bomba de alimentación desempeña dos funciones: La sección accionada mecánicamente efectúa la aspiración del combustible y su descarga cuando el motor está funcionando.

La sección de cebado de la bomba, que efectúa manualmente la aspiración y descarga del combustible para purgar el aire de las tuberías del sistema de combustible, sin que esté funcionando el motor.

La construcción básica de los tipos KS y KE es la misma.

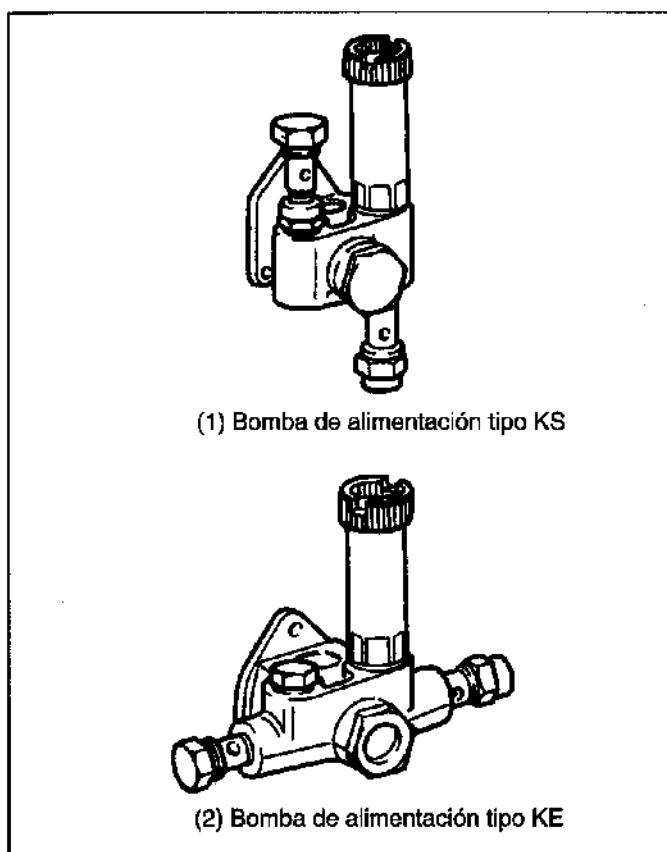


Figura 5-2 Tipos de bombas de alimentación

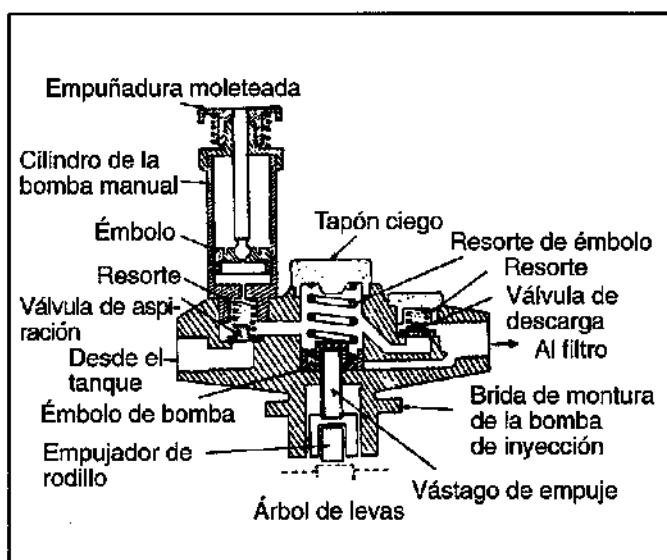


Figura 5-3 Construcción de la bomba tipo KE

(2) Funcionamiento

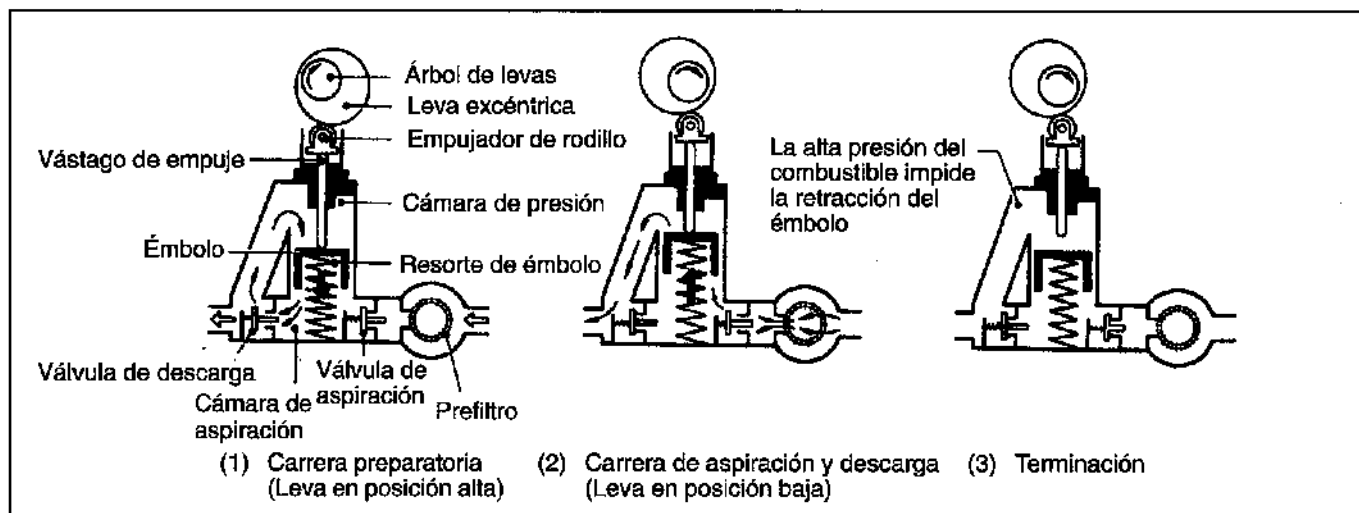


Figura 5-4 Funcionamiento de la bomba de alimentación (tipo efecto simple)

a. Carrera preparatoria

Cuando la leva gira hasta su posición alta para empujar hacia abajo el empujador, el rodillo empujador y el vástago de empuje hacen que el émbolo se desplace y comprima el resorte del émbolo. Este movimiento del émbolo presiona y empuja el combustible fuera de la cámara de aspiración, a través de la válvula de descarga, y lo envía a la cámara de presión (parcialmente a la bomba de inyección). Hacia el fin de la carrera intermedia, la válvula de descarga vuelve a cerrarse.

b. Carrera de aspiración y descarga

Cuando la leva gira hasta su posición baja, la presión del resorte del émbolo es causa de que el émbolo, el vástago de empuje y el rodillo empujador sigan la leva. Este movimiento del pistón empuja el combustible fuera de la cámara de presión y lo suministra al filtro de combustible y a la bomba de inyección. Al mismo tiempo, el émbolo aspira y permite así que el combustible entre en la cámara de aspiración a través de la válvula de aspiración. Con la cámara de aspiración llena de combustible, el ciclo de bombeo vuelve a comenzar.

c. Terminación

Si la presión de descarga del combustible llega a un valor de aproximadamente $2,5 \text{ kg/cm}^2$ ($35,6 \text{ psi}$), la presión de descarga hace que el émbolo permanezca en una posición de carrera intermedia, comprimiendo el resorte del émbolo.

En este estado, la bomba de alimentación no trabaja.

5-3. BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE DE DOBLE EFECTO

Como es mostrado en la figura 5-5, este tipo de bomba de alimentación incluye dos válvulas de aspiración y dos válvulas de descarga de combustible.

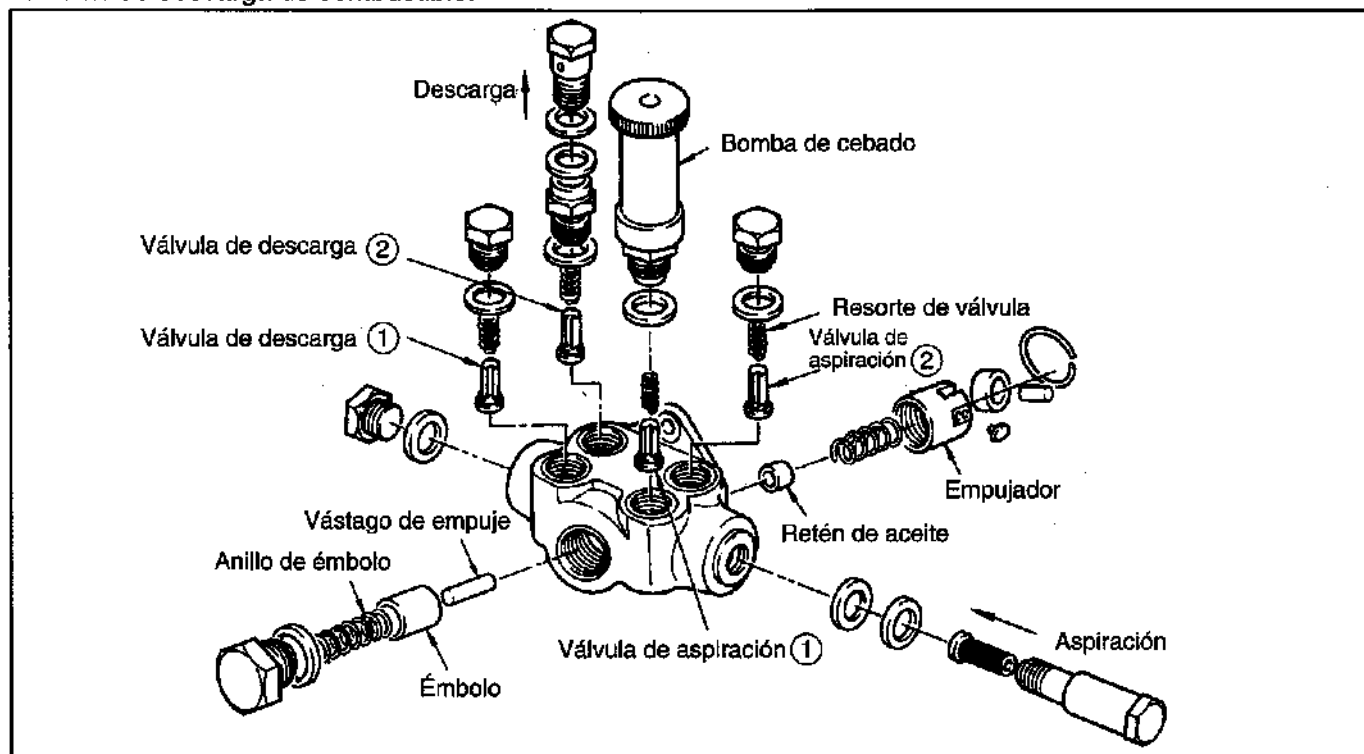


Figura 5-5 Despiece de la bomba de alimentación de tipo doble efecto

(1) Principio del funcionamiento

a. Carrera de compresión del resorte del émbolo

Como es mostrado en la figura 5-6 (1), cuando la leva —mediante el empujador de la bomba de alimentación— aplica una fuerza descendente al émbolo, la válvula de descarga ① se abre y permite que el combustible que está en la cámara interior sea descargado a través del conducto de la salida de descarga. Al mismo tiempo, la válvula ② de aspiración se abre para aspirar combustible en la cámara exterior.

b. Carrera de retracción del resorte del émbolo

Entonces, después de que la leva gira a la posición mostrada en la figura 5-6 (2), el émbolo es devuelto a su posición superior por la acción del resorte del émbolo. En este momento, la válvula ② de descarga se abre para descargar el combustible en la cámara exterior, mientras la válvula ① de aspiración se abre para aspirar combustible en la cámara interior.

La bomba de alimentación efectúa los procesos antes descritos para bombear el combustible durante las carreras ascendente y descendente del émbolo. Debido a que este tipo de bomba de alimentación produce una alta presión de descarga cuando la leva empuja el pistón hacia abajo, el sistema de suministro debe incorporar una válvula de rebose y retorno del combustible.

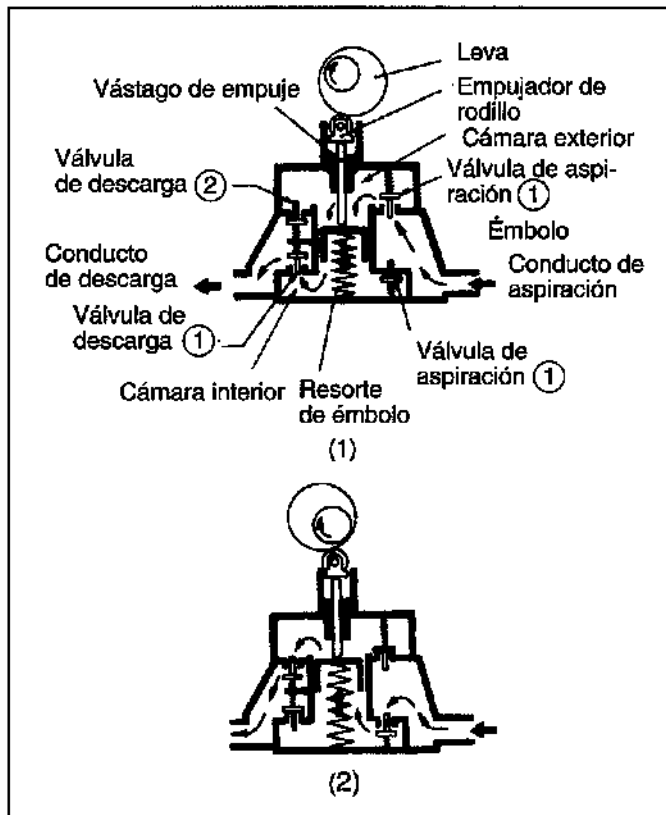


Figura 5-6 Funcionamiento de la bomba de alimentación tipo doble efecto

5-4. BOMBA DE CEBADO

Para garantizar que el motor pueda arrancar, es necesario proceder a la purga del aire contenido en el sistema de combustible. Por consiguiente, los motores diesel están equipados con bombas de cebado para purgar el aire del sistema. Como es mostrado en la figura 5-7, las bombas de cebado pueden ser de dos tipos según sea la manera cómo están montadas. Las bombas de cebado son accionadas empujando hacia arriba y hacia abajo la empuñadura del émbolo lo que permite bombear a través de la cámara de aspiración hacia la bomba.

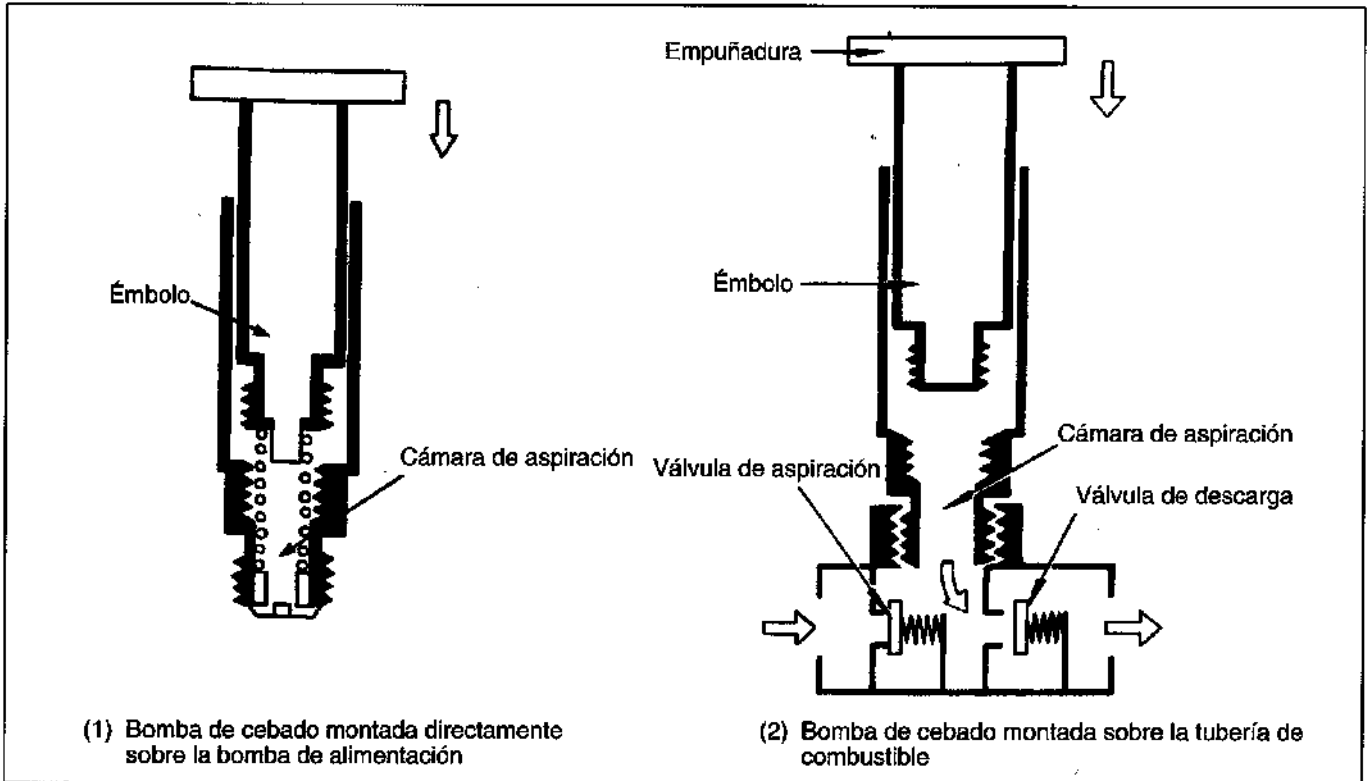


Figura 5-7 Bomba de cebado

5-5. PREFILTRO

Normalmente, un prefiltro para el limpiado por filtrado del combustible está incorporado en el lado de la aspiración de la bomba de alimentación. Hay dos tipos de prefiltros. (El tipo (1) es el tipo standard o normal)

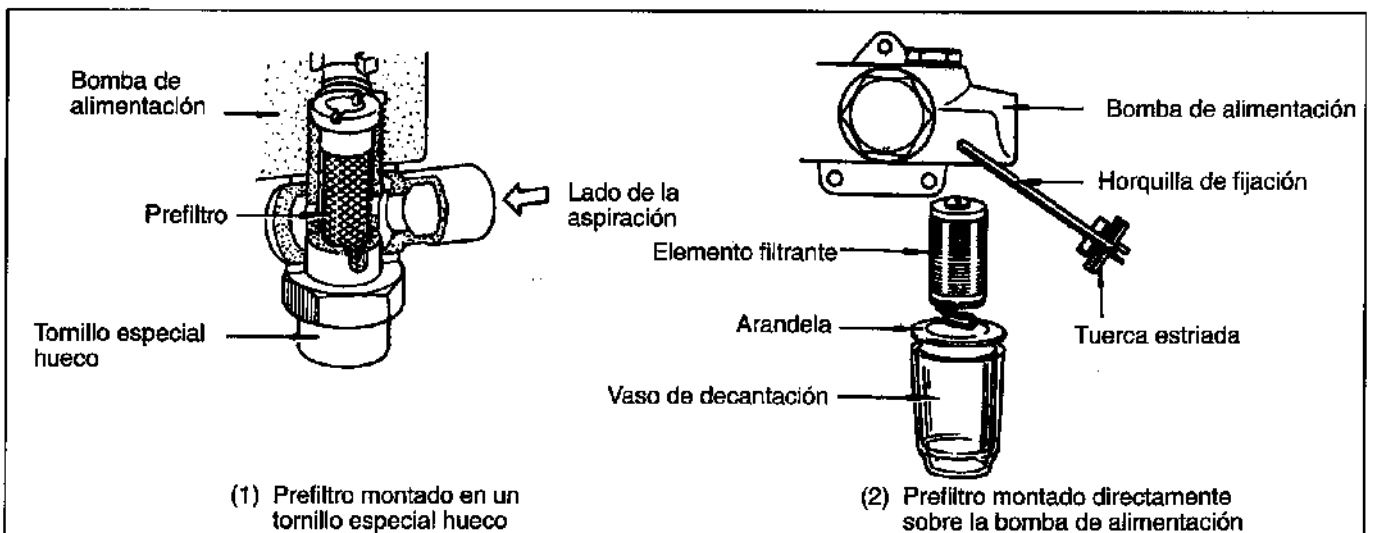


Figura 5-8 Prefiltro

6

VARIADOR AUTOMÁTICO DE AVANCE Y ACOPLAMIENTO

6-2. TIPOS DE VARIADOR DE AVANCE

Los variadores de avance pueden ser clasificados según su modo de accionamiento en dos tipos: tipo externo, y tipo de accionamiento interno. El tipo de variador de avance externo o exterior es accionado por el acoplamiento que está montado en el extremo del eje propulsor del motor. El tipo de accionamiento interno está constituido por un mecanismo de engranaje variador, que es propulsado por el motor mediante el engranaje directo con el engranaje del motor.

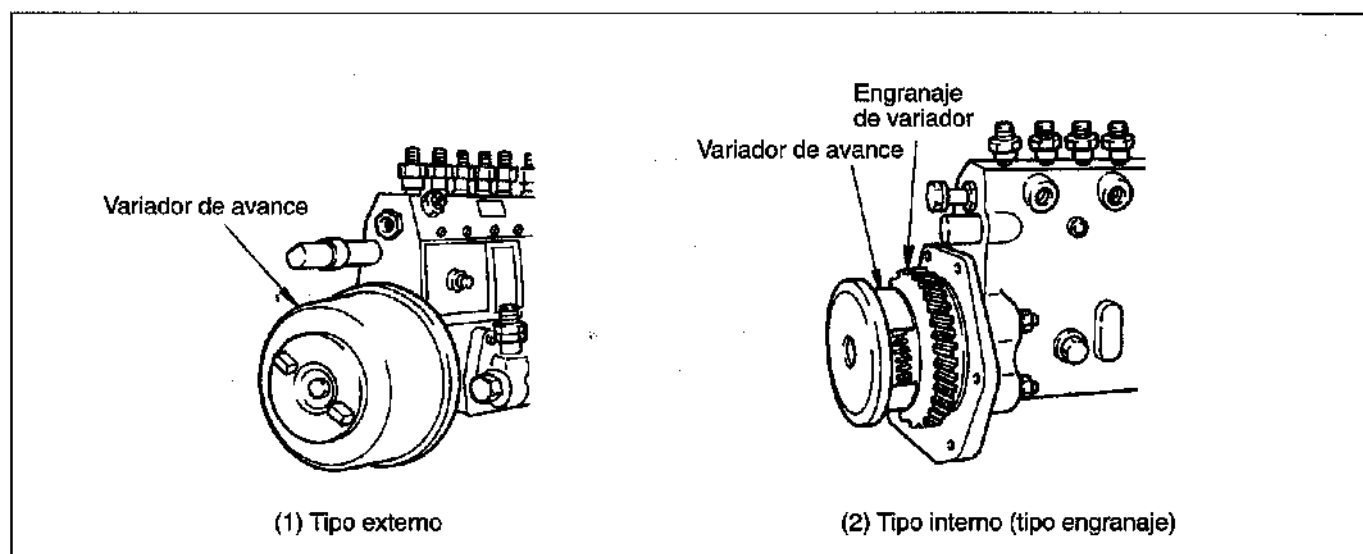


Figura 6-2 Tipos de variador de avance

Los variadores de avance externos, que tienen una construcción sellada, están disponibles en dos modelos: el tipo SA y el tipo SP. Los variadores de avance internos, también denominados de tipo SCZ, tienen una construcción abierta porque utilizan el aceite del motor para su lubricación.

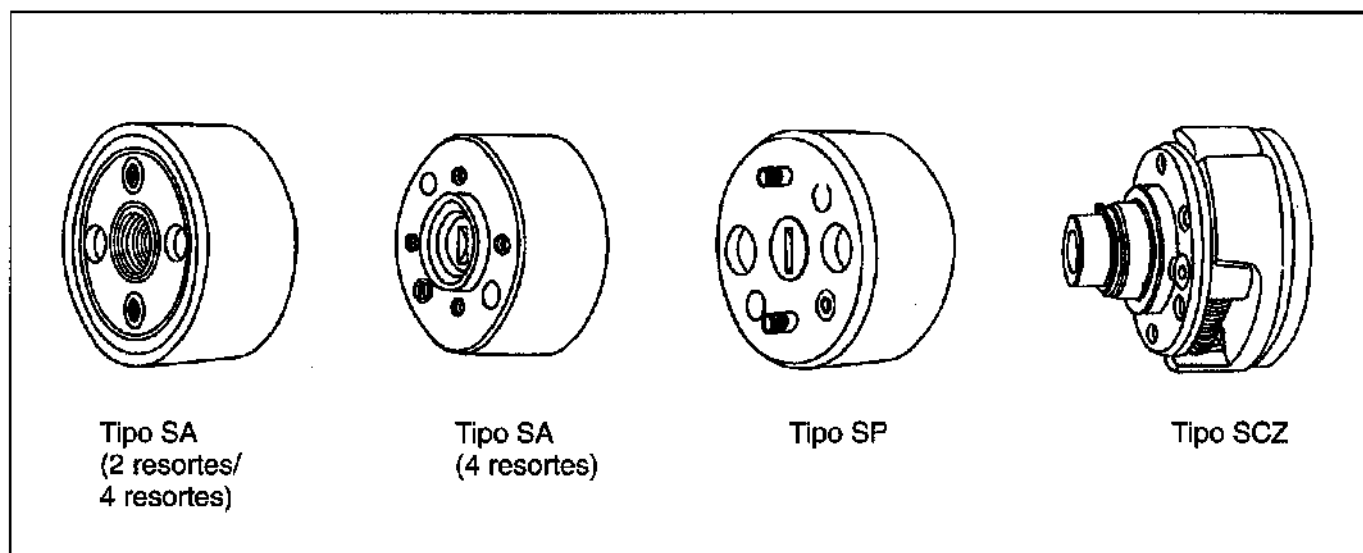


Figura 6-3 Tipos de variador de avance

El cuadro mostrado a continuación compara los tipos de variadores de avance antes descritos:

Elemento \ Tipo		Tipo SA		Tipo SP	Tipo SCZ	
		(2 resortes)	(4 resortes)	(4 resortes)	(2 resortes)	
(1) Peso aproximado	(kg)	4,5	5,0 (engranaje del variador no incluido)	7,0	1,7 (engranaje del variador no incluido)	2,4 (engranaje del variador no incluido)
(2) Dimensiones exteriores	(mm)	ø128	ø135	ø145	ø102 ^{*1}	ø114 ^{*1}
(3) Aplicación	Bomba	Bomba tipo PE-A	Bomba tipo PE-NB Bomba tipo PE-A	Bomba tipo PE-NB Bomba tipo PE-P	Bomba tipo PES-A	Bomba tipo PES-A
	Diámetro de ahusamiento del árbol de levas (mm)	ø17 ø20	ø20 ø25	ø25	ø17	ø20
(4) Ángulo máximo de avance (Ángulo de árbol de levas) (grados)		8°	8°	8°	8,5°	8°
(5) Peso de los pesos del variador (Peso de cada peso) (g)		600	600	900	280	400
(6) Modo de accionamiento	Engranaje	—	○	—	○	○
	Acoplamiento de Oldham	○	○ ^{*2}	—	—	—
	Acoplamiento laminado tipo SP	○	○	—	—	—
	Acoplamiento laminado tipo SD	—	○	○	—	—

*1 Dimensión con los pesos del variador de avance en su ángulo máximo de avance

*2 Tipo interno hecho de acero

6-3. VARIADOR DE AVANCE TIPO SA

(1) Construcción

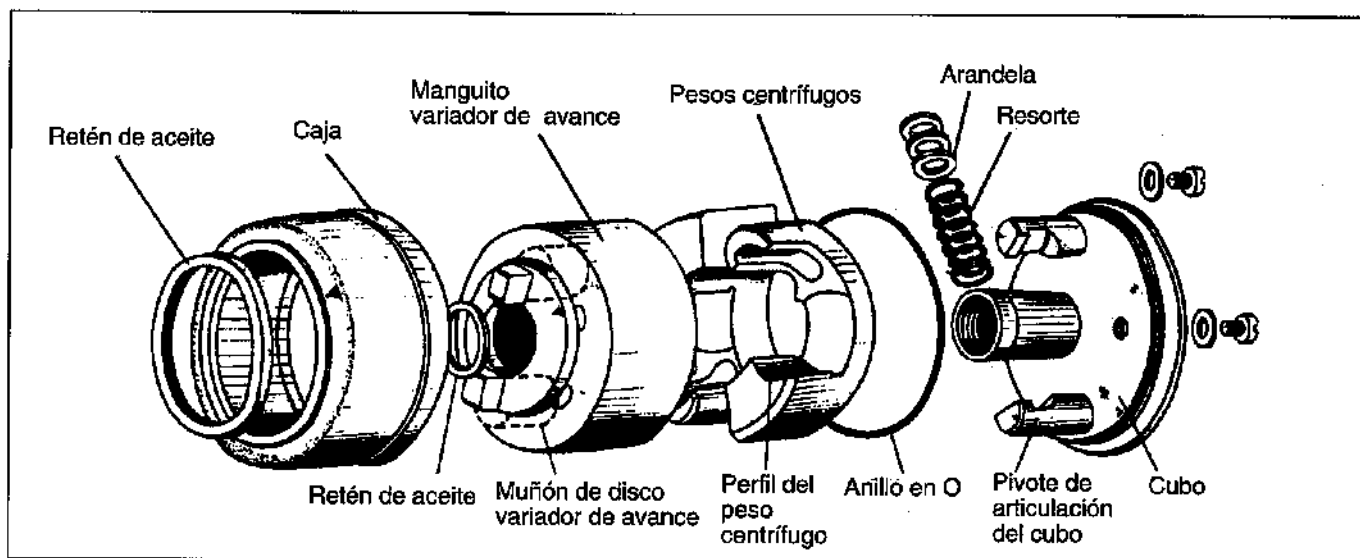


Figura 6-4 Despiece del variador de avance tipo SA

El variador de avance tipo SA está constituido por un cubo, pesos centrífugos (denominados "pesos"), un manguito variador de avance, y resortes.

Cada uno de los pesos tiene un orificio en un extremo por donde se inserta un pivote de articulación del cubo. El cubo está fijado en el árbol de levas de la bomba de inyección mediante una chaveta y tuercas redondas. El muñón del manguito variador de avance está en contacto con el perfil (superficie curva) del peso, y un resorte está instalado entre cada muñón y el perno y la tuerca redonda larga del cubo.

Así entonces, los pesos están dispuestos de manera que pueden abrirse hacia afuera bajo la acción de la fuerza centrífuga. Utilizando el equilibrio entre esta fuerza centrífuga y la tensión ejercida por los resortes, la fase del cubo en relación con el manguito variador de avance varía en función del régimen de la bomba de inyección.

A causa del espacio disponible y a su construcción propia, algunos variadores de avance difieren estructuralmente en lo que se refiere a la configuración de los resortes, tal es el caso, por ejemplo, del variador de avance de 4 resortes que tiene dos resortes colocados paralelamente entre sí.

Debido a que el manguito variador de avance está unido al eje propulsor del motor mediante el acoplamiento, la fuerza de rotación del motor es transmitida en la secuencia siguiente: acoplamiento, manguito variador de avance, muñones del disco variador de avance, pesos centrífugos, pivotes de articulación del cubo, cubo, y enseguida al árbol de levas de la bomba de inyección.

El variador de avance es lubricado internamente por grasa o aceite de engranajes e incorpora retenes de aceite o sellos, un anillo en O, y una tapa de variador de avance, la que mantiene la estanqueidad e impide las fugas de producto lubricante.

(2) Funcionamiento

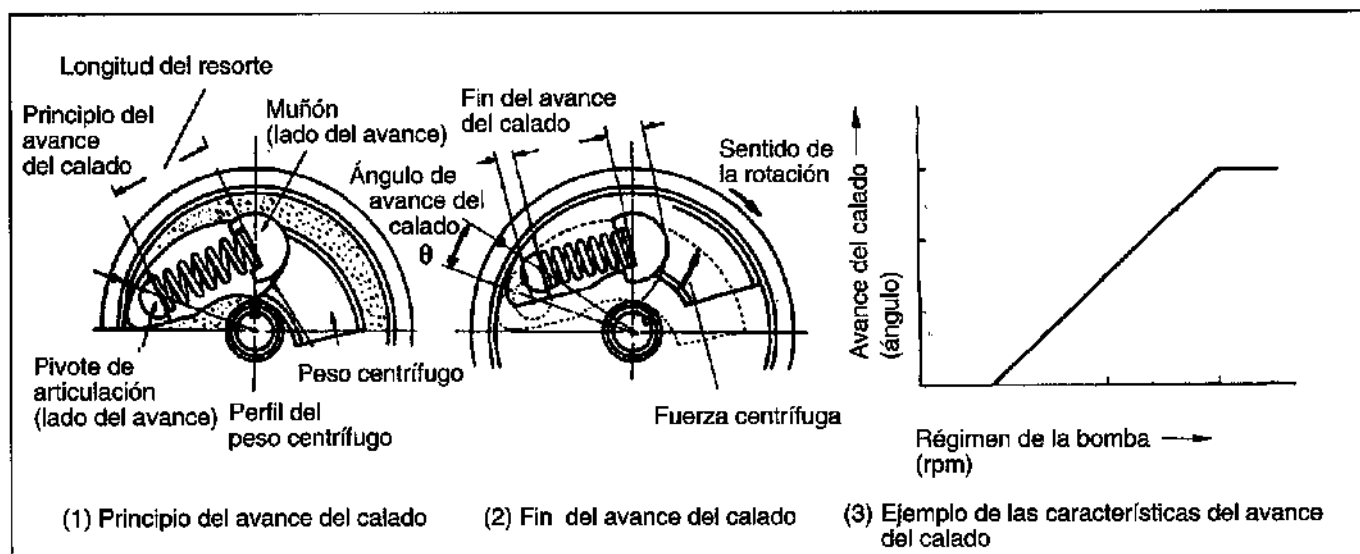


Figura 6-5 Funcionamiento del variador de avance tipo SA

La figura 6-5 (1) muestra el estado del variador de avance antes de funcionar. En este estado, cuando el motor está detenido o cuando el régimen del motor es inferior al régimen al que el variador comienza a avanzar el calado, la fuerza centrífuga es pequeña y los pesos son mantenidos en el interior por la acción de la fuerza de sus resortes.

A medida de que el régimen del motor aumenta, es aplicada una mayor fuerza centrífuga a los pesos y esto hace que se abran hacia afuera sirviéndose de sus pernos respectivos como puntos de apoyo. Con los perfiles de sus pesos de cara a sus respectivos muñones del disco variador, los pesos siguen abriéndose y comprimiendo los resortes hasta que la fuerza centrífuga y la fuerza de los resortes se equilibran. Como resultado, y como es mostrado en la figura 6-5 (2), el cubo de la bomba de inyección se desplaza —desde su posición indicada en la figura 6-5 (1)— hacia el muñón del disco de avance, y su avance está dado por el ángulo θ . Por consiguiente, el árbol de levas de la bomba de inyección se desfase (en el sentido de la rotación) del eje propulsor del motor conectado a la bomba de inyección —el desfase está dado por el ángulo θ — y de este modo entonces el calado de la inyección avanza si comparado con el estado previo al inicio del funcionamiento del variador de avance.

Consiguientemente, a medida de que aumenta el régimen del motor, el calado de la inyección avanza en proporción a la cantidad de compresión de resorte. Como es ilustrado en el ejemplo de las características de avance mostrado en la figura 6-5 (3), el avance de calado del variador de avance es proporcional al régimen del motor.

Aunque algunas características que se separan de la línea recta pueden ser obtenidas mediante las características de resorte y perfil de pesos, de esta manera no se pueden obtener características complejas. Además, las características de avance del variador son afectadas, en cierta medida, por el volumen de inyección en el sentido de que mientras menor es el volumen de inyección más avanza el variador.

6-4. VARIADOR DE AVANCE TIPO SP

(1) Construcción

El variador de avance tipo SP utiliza un sistema de 4 resortes. Cada uno de los dos pesos tiene un taladro en cada extremo que encaja en el perno de avance del manguito de avance. Un soporte de resorte está insertado al lado del peso, y dos resortes están instalados entre el soporte de resorte (perfil) y el cubo.

El casquillo de rodillo y el rodillo se deslizan sobre el pasador del peso centrífugo. La circunferencia exterior del rodillo está en contacto con el perfil localizado en el cubo.

La tapa terminal está fijada a los pernos del manguito variador de avance mediante dos pernos. El cubo está fijado al árbol de levas de la bomba de inyección mediante una chaveta y tuercas redondas.

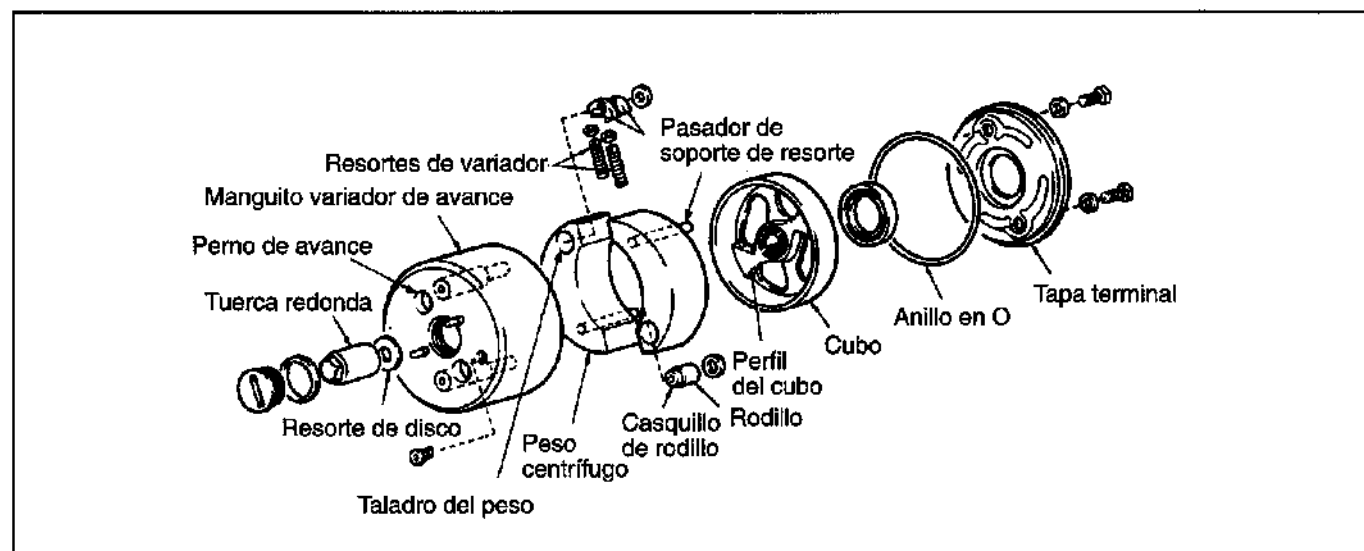


Figura 6-6 Despiece del variador de avance tipo SP

(2) Funcionamiento

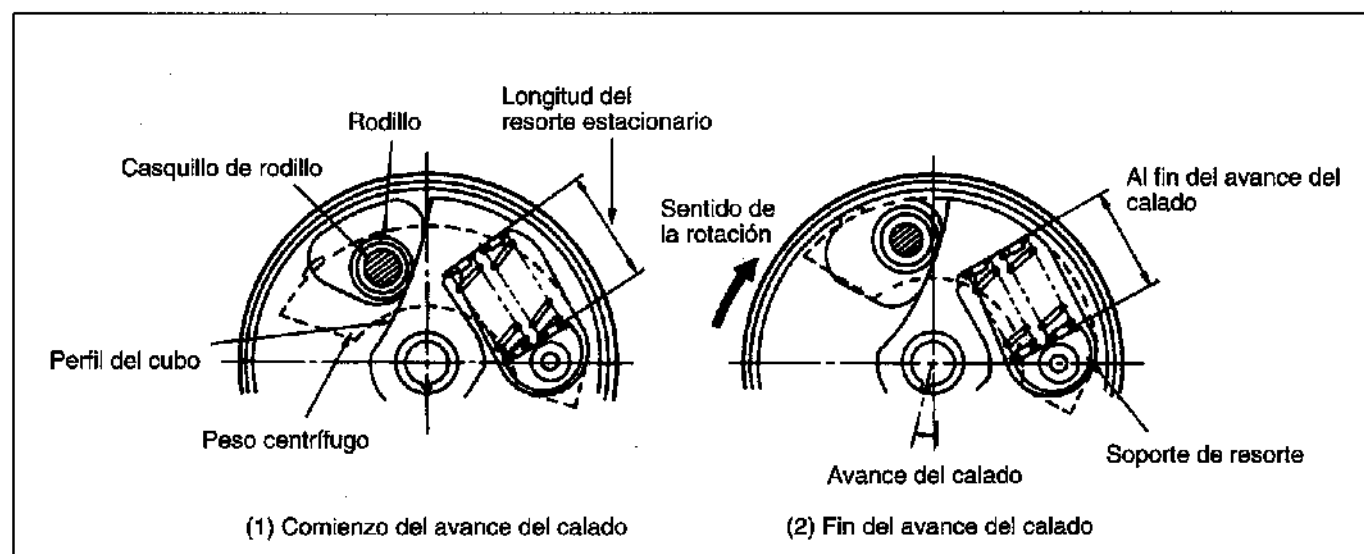


Figura 6-7 Funcionamiento del variador de avance tipo SP

Cuando el régimen de velocidad del motor es inferior al régimen al que comienza el avance del variador, la fuerza centrífuga aplicada a los pesos es pequeña. En este estado, la longitud instalada del resorte es la más larga.

A medida de que el régimen del motor aumenta, la fuerza centrífuga es causa de que los pesos se abran hacia afuera empleando sus pernos en el manguito de avance como punto de apoyo. Los pesos centrífugos o masas se mantienen abiertos y empujan y comprimen los resortes. El resultado es que el rodillo —que está fijado al pasador de cada peso— se mueve hacia afuera a lo largo del perfil del cubo.

De manera proporcional a este movimiento, el árbol de levas de la bomba de inyección gira en relación con el eje propulsor del motor, y avanza así el calado de la inyección. El variador de avance efectúa un suave y regular avance del calado gracias a que el perfil del cubo se desliza en contacto con el rodillo, como ya se ha mencionado.

6-5. VARIADOR DE AVANCE TIPO SCZ

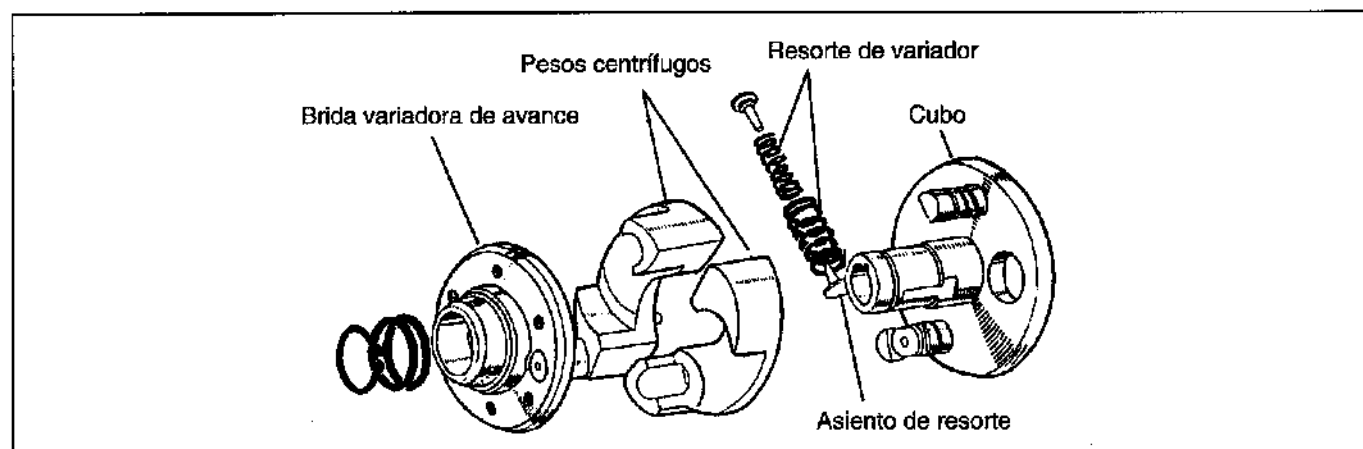


Figura 6-8 Despiece del variador de avance tipo SCZ

Este tipo de variador de avance incorpora un engranaje en la brida variadora de avance, el que es accionado por el engranaje de régimen de marcha en vacío del motor. Tiene una construcción abierta y sus piezas son lubricadas por el aceite del motor.

La construcción interna y el funcionamiento del variador de avance tipo SCZ son prácticamente las mismas que en el variador tipo SA.

6-6. VARIADORES DE AVANCE TIPO SA0, SA1 Y SA2

El ejemplo dado a continuación es el de la estructura del variador de avance tipo SA1, ya que los variadores de avance tipo SA0, SA1 y SA2 tienen básicamente la misma estructura.

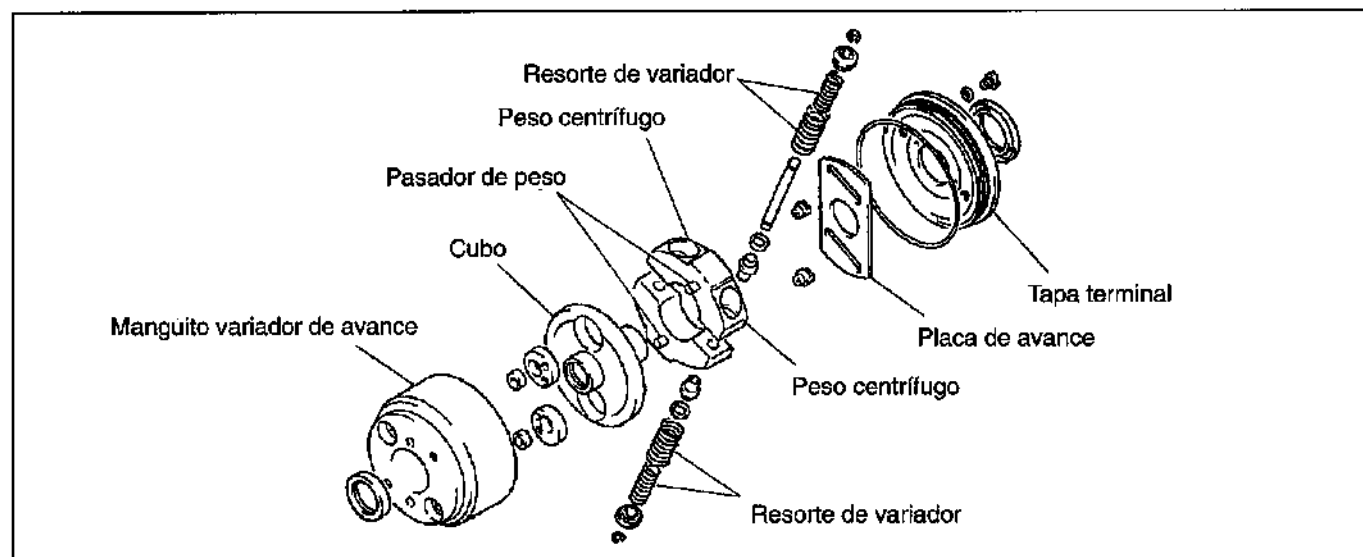


Figura 6-9 Variador de avance tipo SA1

(1) Funcionamiento

a. Funcionamiento básico

El movimiento del variador es descrito a continuación tomando como un ejemplo el avance de calado en la fase de inyección.

- 1) Cada punto de la Figura 6-10 está explicitado a continuación:

W: Centro del pasador de peso
(fijado en el centro de gravedad)
B: Centro de la leva excéntrica grande
C: Centro de la leva excéntrica pequeña
D: Centro del pasador de avance
(fijado al manguito de avance)
O: Centro del cubo del variador

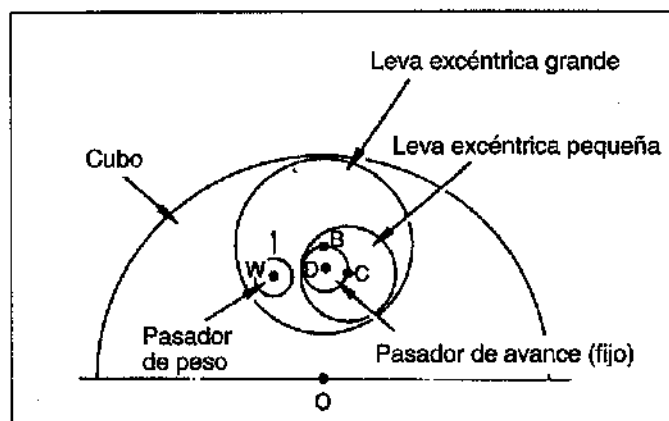


Figura 6-10

- 2) Elementos que deben ser considerados cuando se figura el movimiento de cada uno de los puntos.

- ① El punto O está fijo.
- ② El pasador de avance puede ser considerado como punto fijo.
- ③ El punto D puede ser considerado como punto fijo debido a 2).
- ④ La relación de posición entre los puntos W, B, y C en la leva excéntrica grande no varía. Esto significa que no solamente el ángulo WBC es constante sino que las distancias WB y BC también son constantes.
- ⑤ La relación de posición entre los puntos C y D en la leva excéntrica pequeña no varía. Esto significa que la distancia CD es constante.
- ⑥ El punto B gira alrededor del punto O.
- ⑦ El movimiento del punto B sigue el movimiento del cubo.
- ⑧ El punto C gira alrededor del punto D.
- ⑨ En la leva excéntrica grande, el punto W gira alrededor del punto B.

Considerando lo que acaba de establecerse, figure el movimiento de cada punto.

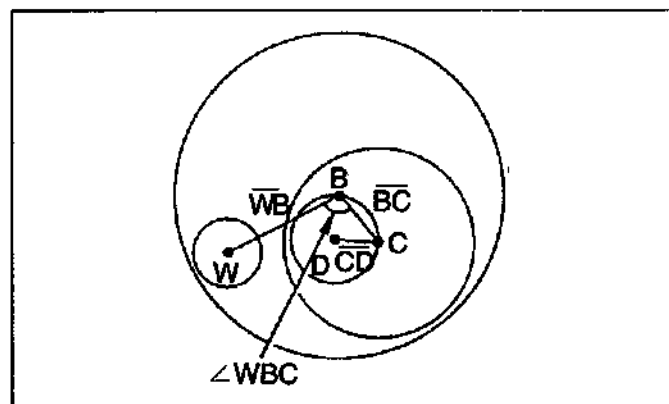


Figura 6-11

- 3) Movimiento de cada punto:

- ① Las rpm de la bomba aumentan.
- ② Los pesos se cierran.
- ③ El punto W gira alrededor del punto B en la leva excéntrica grande.
- ④ El punto B gira alrededor del punto O.
- ⑤ El punto C gira alrededor del punto D.

Los movimientos que acaban de ser descritos tienen lugar simultáneamente. La figura 6-12 muestra estos movimientos.

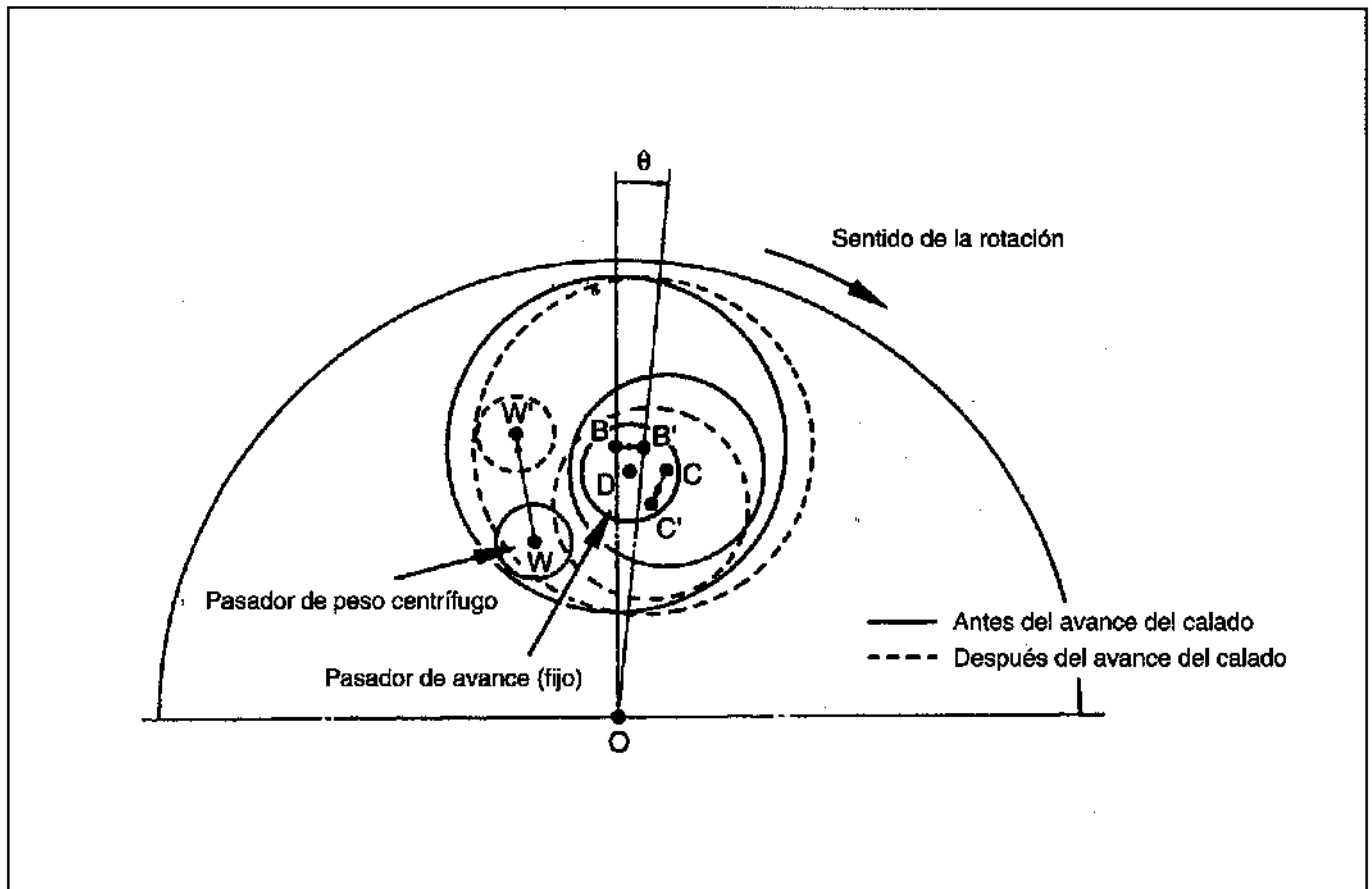


Figura 6-12

Los movimientos mostrados en la figura 6-12 son explicados más en detalle mediante el mecanismo de articulación en la figura 6-13.

4) Avance del calado

De las figuras 6-12 y 6-13 se desprende que el punto B ha avanzado el ángulo θ . Por otra parte, de los puntos ②, ③ y ⑦ expuestos en a. 1), se concluye también que la relación entre el avance y el cubo ha variado. El pasador de avance está conectado directamente al eje propulsor y el cubo está conectado directamente al árbol de levas de la bomba de inyección. Esto significa que el avance del árbol de levas de la bomba ha sido mayor que el del eje propulsor del motor y equivale al ángulo θ .

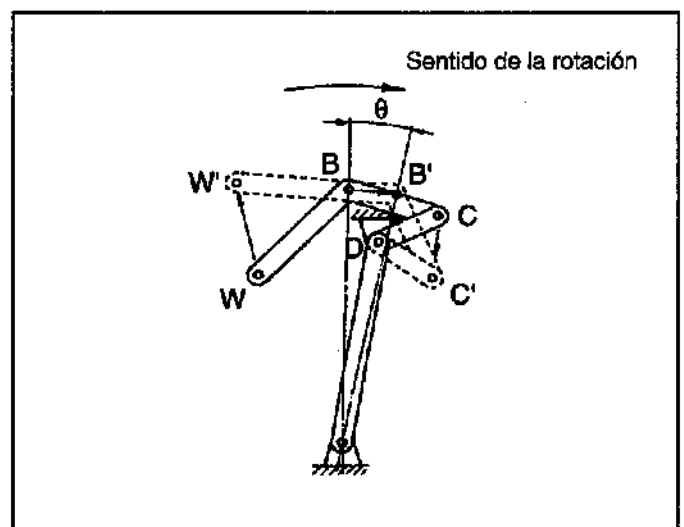


Figura 6-13

b. Papel del resorte secundario del variador de avance

- 1) La adición de un resorte secundario permite el avance de calado de etapas múltiples.

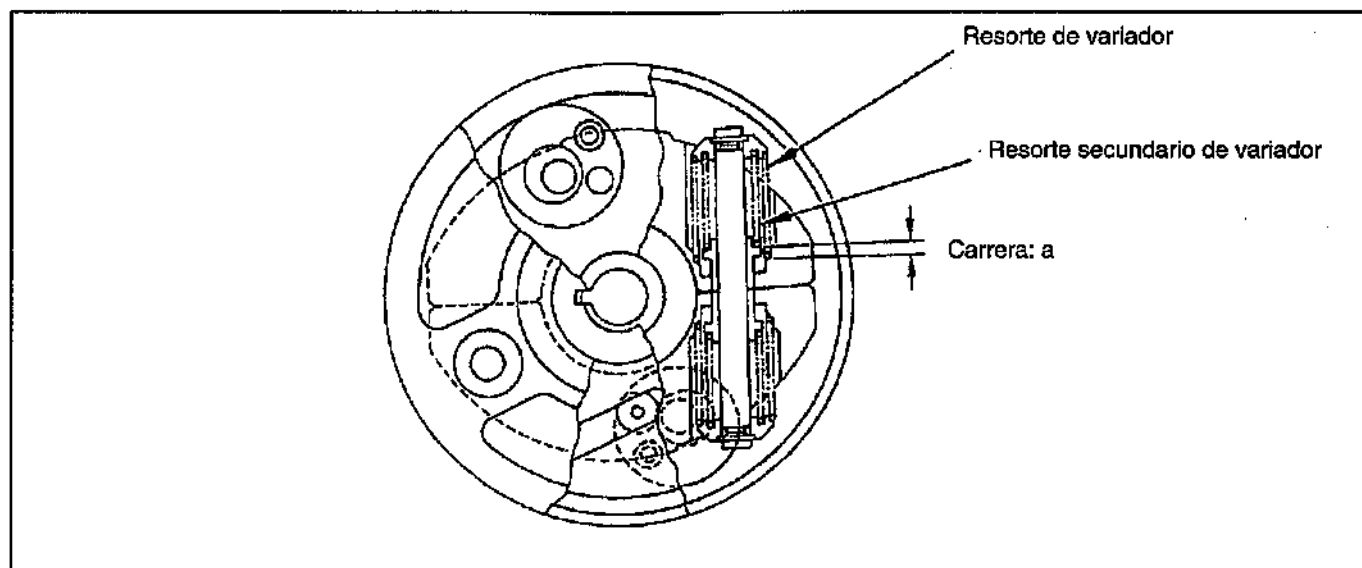


Figura 6-14

- ① Cuando el variador de avance gira y la fuerza centrífuga de los pesos excede la carga fijada del resorte del variador, los pesos empiezan a abrirse y esto causa la compresión del resorte del variador.
- ② Cuando los pesos se abren por carrera el resorte secundario del variador de avance es activado para impedir que los pesos centrífugos sigan abriéndose.
- ③ Cuando las rpm del variador y la fuerza centrífuga exceden la carga fijada del resorte secundario, el resorte del variador y el resorte secundario son comprimidos y hacen que los pesos se abran.

El carácter del avance del calado puede ser representado en la forma presentada en la figura siguiente.

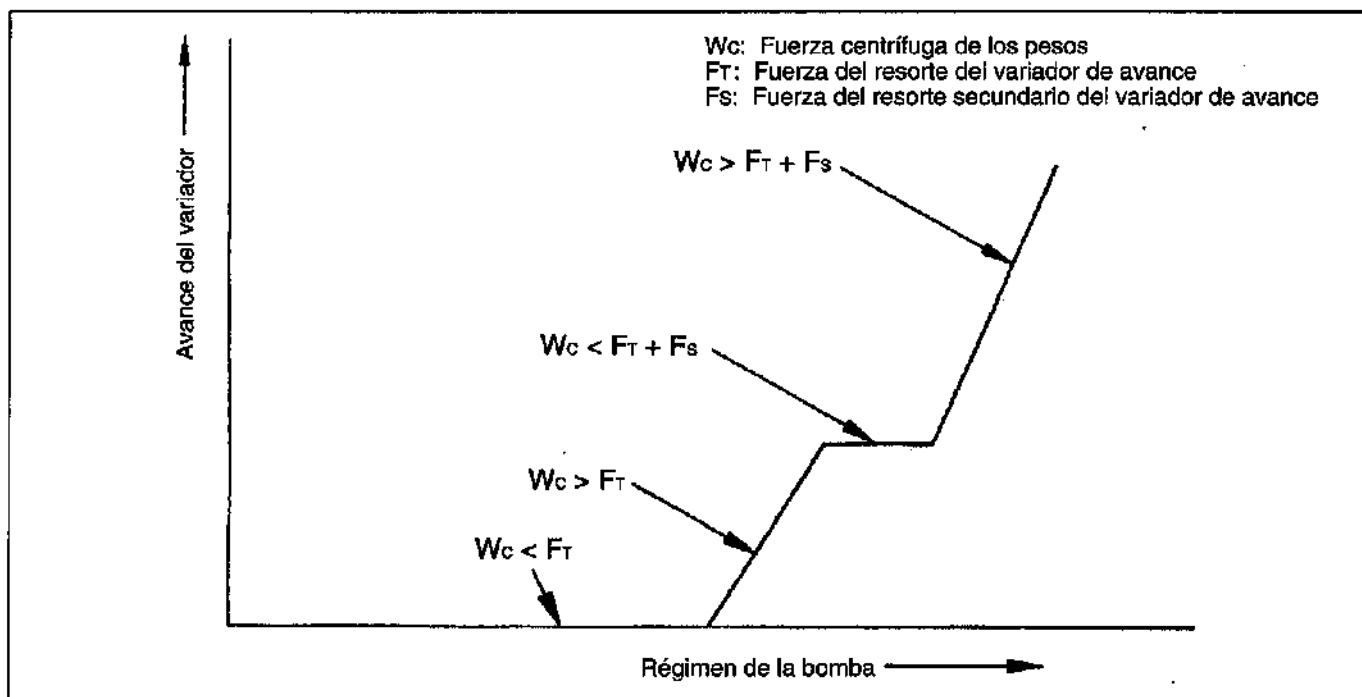


Figura 6-15

6-7. CALADO DE LA INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE Y SUS EFECTOS

El hecho de que la bomba de inyección de combustible suministre combustible al calado adecuado —o no lo haga— afecta considerablemente el rendimiento del motor. Es así que la inyección calada inadecuadamente puede ser causa de la reducción de la potencia útil del motor.

(1) Calado demasiado avanzado de la inyección

Si el combustible es inyectado demasiado pronto, cuando la cámara de combustión todavía no ha llegado a la temperatura apropiada —es decir cuando las condiciones necesarias para la combustión adecuada todavía no están presentes— el tiempo de espera o atraso del encendido aumenta. El volumen considerable de combustible que ha sido inyectado durante este intervalo de tiempo se enciende completamente de una vez y esto tiene los efectos siguientes:

- a. Golpeteo del motor
- b. Emisión de humo negro
- c. Reducción de la potencia útil del motor

Además, si el calado de la inyección está demasiado avanzado, el arranque del motor puede ser difícil.

(2) Calado demasiado atrasado de la inyección

Si el combustible es inyectado demasiado tarde, esto tendrá los efectos siguientes:

- a. Emisión de humo negro durante el arranque
- b. Emisión de escape de color azul y de efecto irritante durante el funcionamiento. Además, el motor producirá ruidos sordos de golpeteo.
- c. Disminución de la potencia del motor.
- d. El motor empieza a hacerse difícil de arrancar.

6-8. ACOPLAMIENTO

El acoplamiento es un dispositivo intermedio que transmite el par del motor al árbol de levas de la bomba de inyección.

Hay dos tipos de acoplamientos disponibles: el tipo laminado, y el tipo Oldham. Estos dos tipos de acoplamiento difieren en la manera cómo son accionados. Las bombas de inyección que utilizan los variadores de avance tipo SCZ accionados por engranaje no necesitan un acoplamiento.

(1) Clasificación según el método de accionamiento

a. Acoplamiento de placas laminadas

Como es mostrado en la figura 6-9 (1), el acoplamiento de placas laminadas está constituido por 4 o 5 capas de discos de hojas de acero delgadas que han sido diseñadas para que mediante su elasticidad absorban la excentricidad. Este tipo de acoplamiento es utilizado en las bombas de carga elevada a las que se transmite un gran par propulsor. Debido a su escaso desgaste y ruido, este tipo de acoplamiento es el más utilizado actualmente.

b. Acoplamiento Oldham

Como es ilustrado en la figura 6-9 (2), este acoplamiento está constituido por un disco de acoplamiento (hecho de baquelita) que incorpora cuatro ranuras y que está instalado entre el bloque de acoplamiento y la brida de acoplamiento, en tal forma que los pernos o lengüetas del bloque de acoplamiento (o del variador de avance) son conducidos por las lengüetas de la brida de acoplamiento (lado del eje del motor) las que están desfasadas de 90°. Debido a las limitaciones de desgaste impuestas por las superficies de contacto de las lengüetas y del disco, este sistema es utilizado en las bombas de carga baja.

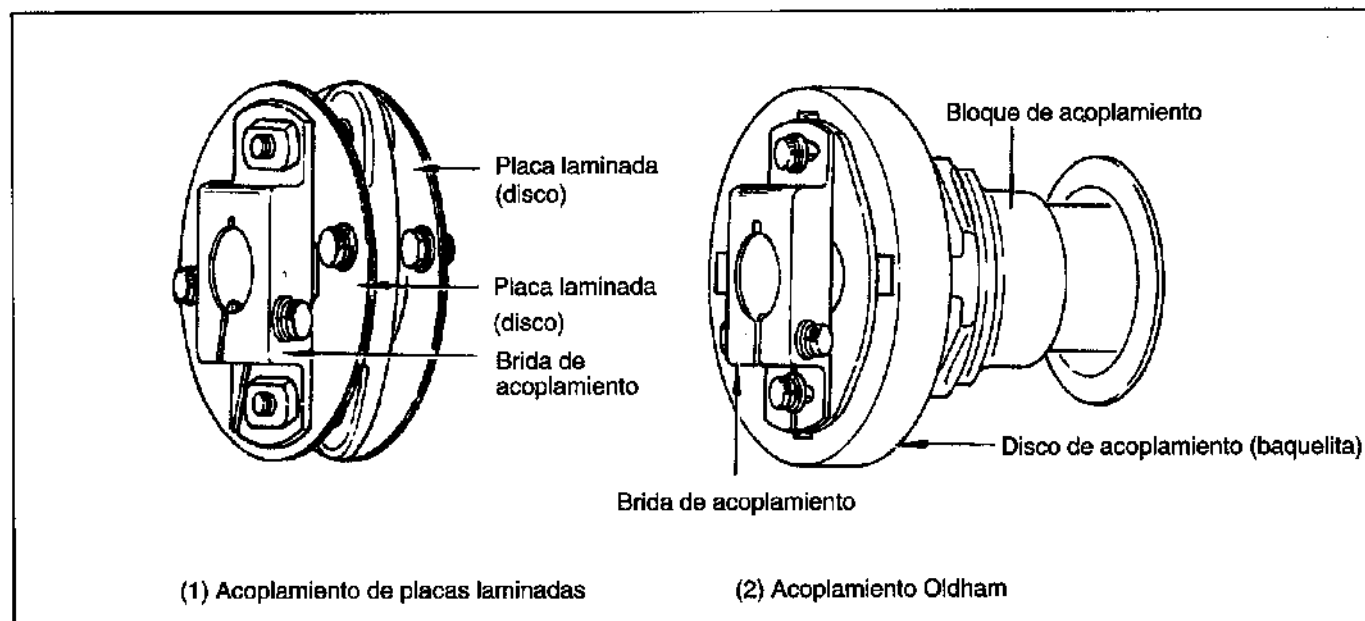


Figura 6-16 Acoplamiento

(2) Tipos de acoplamiento y sus características

Tipo	Modelo	Peso aproximado (kg)	Diámetro de placa exterior (mm)	Longitud (mm)	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Acoplamiento laminado	SP	0,8, 1,3	ø94	42,6, 59	Transmite fácilmente el movimiento de rotación. No es ruidoso.	Tiene muchos componentes.	Para aplicaciones de carga elevada.
	SD	2,0	ø110	69,5			
Acoplamiento Oldham	SP	0,5	ø75	30,8	Montaje fácil. Construcción sencilla.	Ruidoso debido al desgaste de lengüetas cuando utilizado con motores de par motor elevado.	Para aplicaciones de carga baja.

7

INYECTORES Y PORTAINYECTORES

7. INYECTORES Y PORTAINYECTORES

Las funciones del portainyector son: servir de soporte al inyector y montarlo en el motor, y llevar el combustible al inyector. Adicionalmente, el portainyector regula la presión de abertura o tarado del inyector.

7-1. TIPOS DE PORTAINYECTOR

Los portainyectores pueden ser clasificados en los tipos mostrados en la figura 7-1, de acuerdo con el modo de montura en la culata.

- (1) Tipo KB : montado por una brida y pernos.
- (2) Tipo KC : montado por tuercas de fijación.
- (3) Tipo KD : montado por un tornillo cilíndrico hueco.

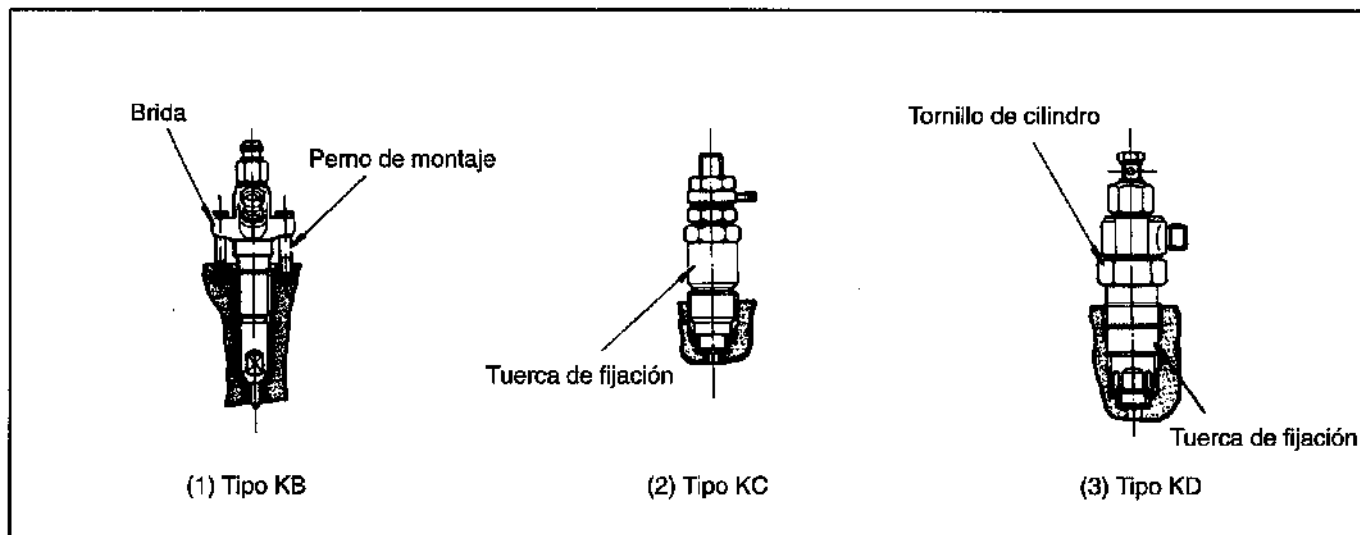


Figura 7-1 Portainyectores clasificados según el método de montura

La figura 7-2 muestra los dos tipos de portainyectores clasificados según el dispositivo de regulación de la presión de abertura del inyector.

- (1) Tipo tornillo de ajuste : ajustado por un tornillo de ajuste.
- (2) Tipo calce de ajuste: ajustado por el cambio de calces de ajuste de grosor diferente.

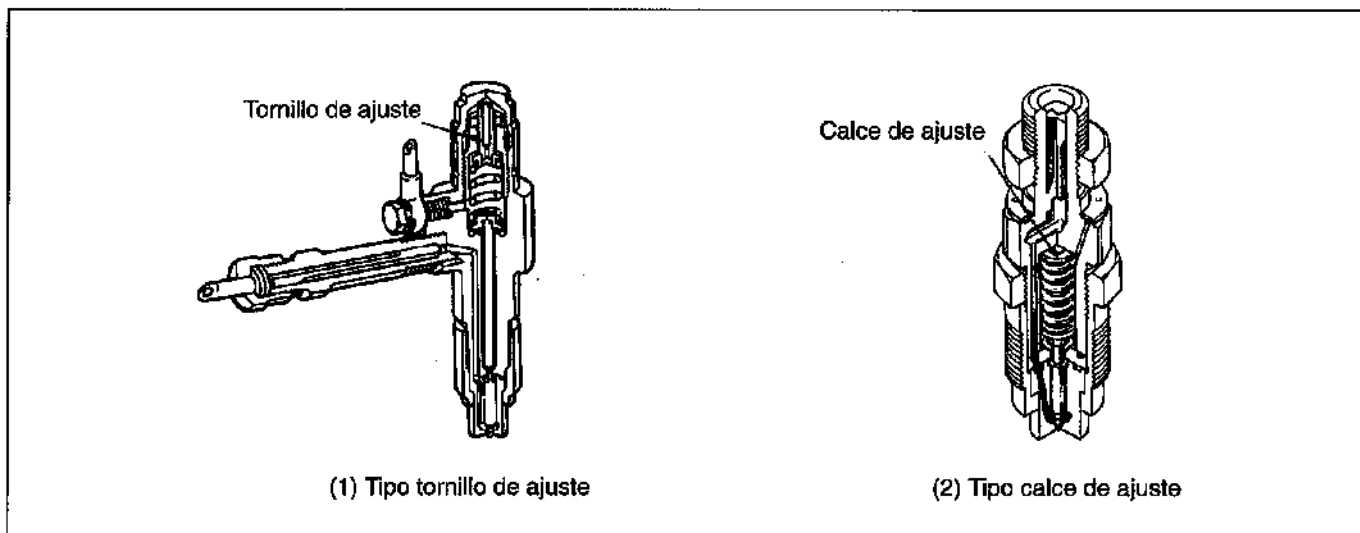


Figura 7-2 Clasificación según el dispositivo de regulación de la presión de abertura del inyector.

Además, hay un portainyector de dos resortes en el cual la presión de abertura y la carrera pueden ser ajustados en dos etapas (Refiérase a la figura 7-4).

(1) Tipo KBL

Este tipo de portainyector está montado en el motor mediante una brida y pernos.

En este tipo de portainyector el ajuste de la presión de abertura es de fácil ejecución porque incorpora un tornillo de ajuste para esto. Sin embargo, necesita un espacio relativamente grande para su instalación, por esto es utilizado, principalmente, en los motores de grandes dimensiones.

(2) Tipo KCA

Este tipo de portainyector está montado en el motor utilizando el roscado de la parte superior del tornillo que ha sido mecanizada para permitir la instalación de la tuerca de fijación.

En este tipo de portainyector el ajuste de la presión de abertura del inyector es de ejecución más difícil porque deben utilizarse calces de ajuste de grosor diferente hasta encontrar el ajuste apropiado al caso. Sin embargo, debido a que el montaje de este tipo de portainyector es fácil, se lo emplea mucho en los motores pequeños.

(3) Tipo KD

Este tipo de portainyector tiene las ventajas de los dos tipos anteriores: KB y KC. Se suministra con un tornillo cilíndrico hueco para su montaje en la culata, el tipo KD no necesita una brida de montura ni pernos. Además, la presión de abertura del inyector del tipo KD puede ser ajustada fácilmente utilizando el mismo tornillo de ajuste empleado en el tipo KB.

7-2. CONSTRUCCIÓN DEL PORTAINYECTOR

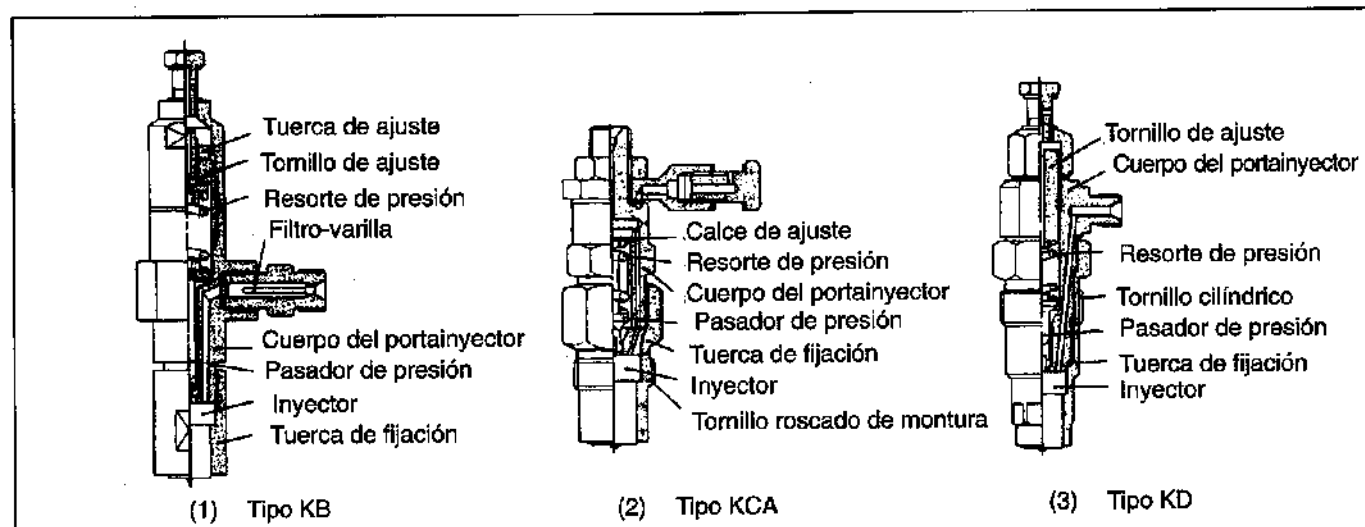


Figura 7-3 Construcción de inyector y portainyector

La figura 7-3 muestra la construcción de portainyector típicos, con el inyector instalado en el extremo del portainyector. La válvula de inyector o aguja del inyector, que controla la inyección de combustible por la tobera de salida, es comprimida por el resorte de presión mediante el pasador de presión. La fuerza de este resorte puede ser ajustada para así regular la presión de abertura o tarado del inyector.

Un filtro en forma de varilla (filtro-varilla) está instalado en el conducto de alimentación que conecta el inyector al tubo de impulsión o de alta presión.

Este filtro protege el inyector al eliminar las eventuales impurezas del combustible y las partículas de polvo que pudieran penetrar en la instalación durante las operaciones de instalación o de desmontaje del tubo de impulsión, tubo de alta presión hecho de acero.

7-3. FUNCIONAMIENTO DEL PORTAINYECTOR

Los tipos KB, KD y KCA de portainyectores tienen un funcionamiento prácticamente idéntico.

La figura 7-4 muestra un corte del portainyector. Después de su suministro por la bomba de inyección, el combustible a alta presión fluye por el conducto de alimentación en el canal de presión (en el cuerpo del portainyector) pasando a la cámara de presión del cuerpo del inyector. Entonces, el combustible a alta presión empuja hacia arriba la corona de presión de la aguja del inyector o válvula de inyector, inyecta el combustible a través de la tobera de salida hacia la cámara de combustión.

Debido a que todas las juntas deben ser totalmente estancas para poder mantener la alta presión del combustible, las superficies de contacto entre el inyector y el portainyector están terminadas con una muy alta precisión.

Parte del combustible que es suministrado por la bomba de inyección es empleado para lubricar las superficies de deslizamiento del cuerpo del inyector y de la aguja del inyector. Entonces, el combustible entra en la cámara del resorte y pasa a través del conducto de rebose al portainyector y luego al depósito o tanque de combustible.

7-4. PORTAINYECTOR DE DOS RESORTES

El portainyector de dos resortes inyecta el combustible por los orificios de la tobera del inyector (que es utilizado en los motores de inyección directa) en dos etapas: la inyección inicial, y la inyección principal. Este mecanismo es eficaz para reducir el golpeteo del motor y otros ruidos producidos en los regímenes bajos a medios.

(1) Construcción

El portainyector de dos resortes contiene dos resortes y dos pasadores de presión, con una separación llamada precarrera (o presalto de la aguja) prevista entre los pasadores de presión. Este sistema permite al portainyector de dos resortes levantar la aguja del inyector en dos etapas, de acuerdo con la presión del combustible en el conducto de inyección.

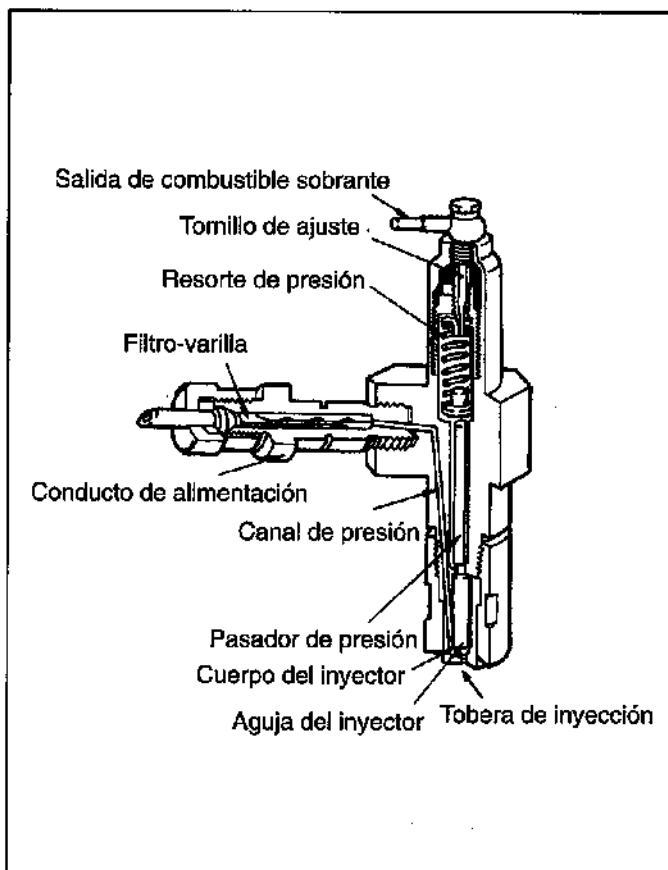


Figura 7-4 Vista en corte del portainyector

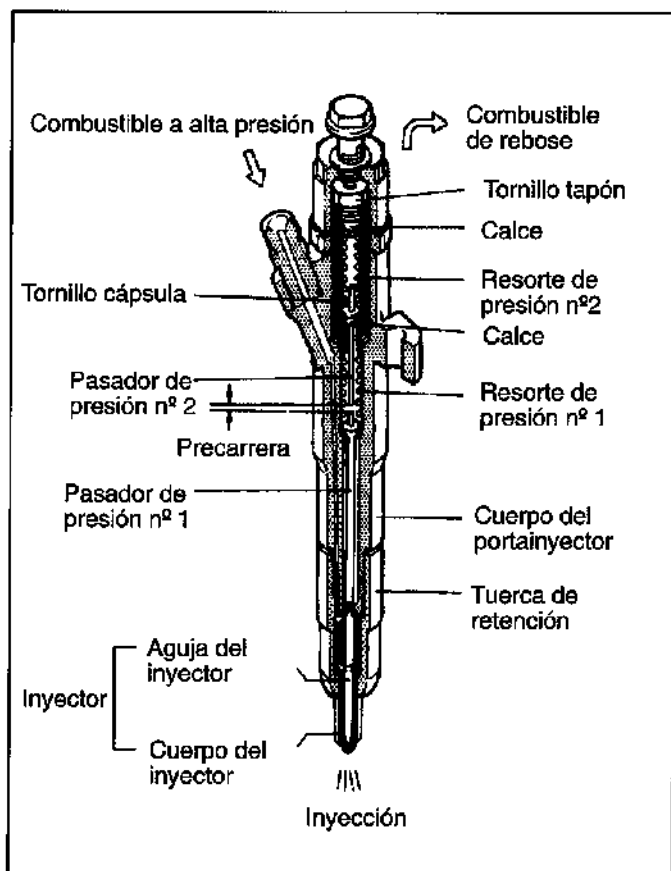


Figura 7-5 Construcción del portainyector de dos resortes

(2) Funcionamiento

- a. El combustible a alta presión que es suministrado por la bomba de inyección entra en el cuerpo del inyector y aplica una fuerza para levantar la aguja del inyector o válvula del inyector. Entretanto, la aguja del inyector mediante el pasador de presión nº 1, es comprimida contra el asiento de la aguja mediante la acción del resorte de presión nº 1. Por consiguiente, cuando la fuerza de la presión del combustible para abrir la aguja llega a ser mayor que la fuerza del resorte de presión nº 1, la aguja del inyector se desplaza hacia arriba a partir de su asiento en el cuerpo del inyector. Como resultado de esto, tiene lugar la primera inyección de combustible. La presión de combustible en este punto preciso se llama "presión de primera abertura" o "presión nº 1 de abertura del inyector" (P_1).

- b. Después de que la aguja del inyector —también llamada válvula del inyector— se levanta la distancia (a), el pasador de presión nº 1 entra en contacto con el pasador de presión nº 2 y esto causa la detención del movimiento ascendente de la aguja del inyector. A medida de que la presión del combustible aumenta, la presión ejercida por el combustible se hace mayor que la fuerza combinada de los resortes de presión nº 1 y nº 2, y el combustible levanta aún más la aguja del inyector, iniciando así la segunda inyección llamada inyección principal.

La presión a la que la aguja del inyector comienza la inyección principal se llama "presión nº 2 de abertura del inyector" (P_2). La aguja del inyector llega a su elevación máxima —salto total— cuando en su movimiento ascendente llega a L1.

- c. El resorte de presión nº 1 determina la primera presión de abertura. Y entonces, para ajustar la primera presión de abertura se ha incorporado un tornillo cápsula con el fin de regular la carga del resorte.
- d. La fuerza combinada de los resortes de presión nº 1 y nº 2 determina la segunda presión de abertura del inyector. Y entonces, para ajustar la segunda presión de abertura se ha incorporado un calce de ajuste con el fin de regular la carga fijada del resorte nº 2 de presión.
- e. La precarrera (a) —o presalto— es ajustada mediante un calce.
- f. El combustible de rebose pasa a lo largo de la válvula de inyector, el juego entre los pasadores de presión nº 1 y nº 2, y por el sangrador del tornillo tapón para así volver al depósito o tanque de combustible.

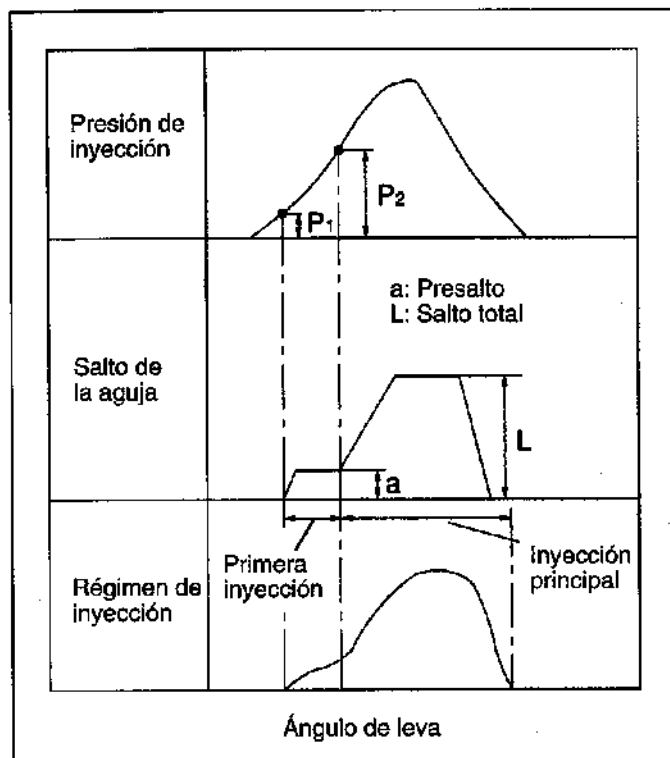


Figura 7-6 Funcionamiento

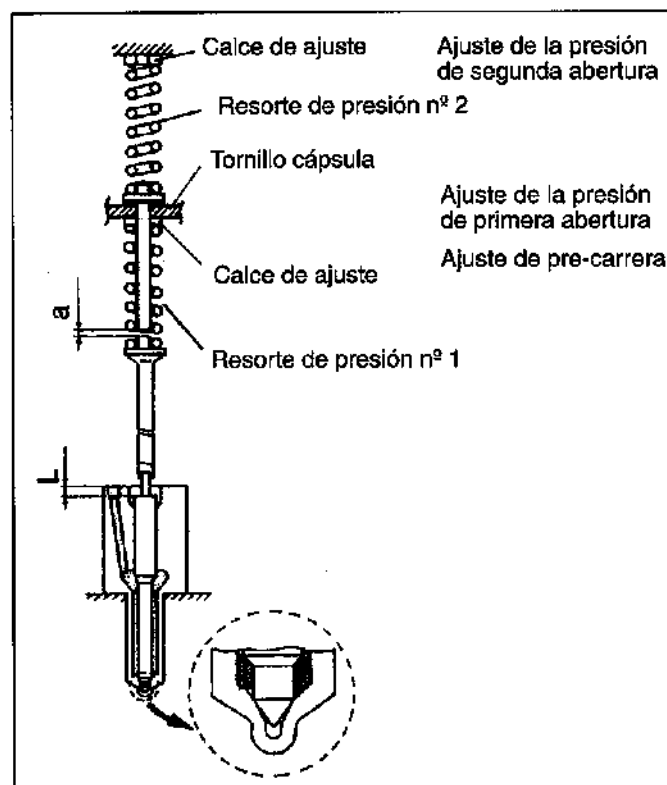


Figura 7-7 Localización de los ajustes

7-5. INYECTORES DE COMBUSTIBLE

(1) Descripción

Los inyectores de combustible (que llamaremos "inyectores") están en el interior de los portainyectores y montados en la culata del motor. El combustible, que la bomba de combustible ha comprimido a una presión elevada, fluye a través de los tubos de impulsión o tubos de acero de alta presión, a los inyectores. El combustible es entonces inyectado por el inyector dentro de la cámara de combustión.

El combustible inyectado se esparce en el cilindro, y después de haber alcanzado una alta temperatura y estar en contacto con el aire se inflama espontáneamente y se quema. Por consiguiente, la calidad del combustible inyectado a través de las toberas de los inyectores es un factor importante para que la combustión sea óptima. Así entonces, la utilización de buenos inyectores que sean adecuados al motor afecta favorablemente el rendimiento del motor.

El período de tiempo que transcurre entre la inyección del combustible y el término de la combustión es extremadamente corto. Por lo tanto, para quemar completamente la mezcla de aire y de combustible en tan corto tiempo, la consecución de la adecuada atomización del combustible es un factor tan importante como lo es la forma óptima de la cámara de combustión. Las condiciones descritas a continuación son generalmente consideradas como las necesarias para una combustión favorable.

a. Atomización

Mientras más minúsculas son las partículas del combustible inyectado, más rápida es su combustión. Por lo tanto, las partículas del combustible inyectado deben ser fragmentadas finamente. Un peso dado de combustible que es fragmentado en numerosos fragmentos puede presentar una mayor superficie total que si estuviera en la forma de un volumen monolítico. Los fragmentos más pequeños pueden absorber calor externo mucho más fácilmente y pueden alcanzar más pronto su temperatura de auto inflamación.

El estado de atomización o de pulverización del combustible es afectado por una serie de factores que incluyen la velocidad a la que es esparcido el combustible (lo que es determinado por la presión de inyección y por el diámetro de los orificios de la inyección) y la temperatura. Los principales factores que influyen en la atomización del combustible son descritos a continuación.

① Presión de inyección

La presión de inyección no puede por sí sola cambiar el diámetro de las partículas. En realidad la presión de inyección modifica la velocidad de la inyección. Cuando la velocidad de inyección aumenta, la fricción del aire y la turbulencia en los orificios de inyección aumenta, y ello causa la producción de partículas de pequeño diámetro, como es mostrado en la figura 7-8.

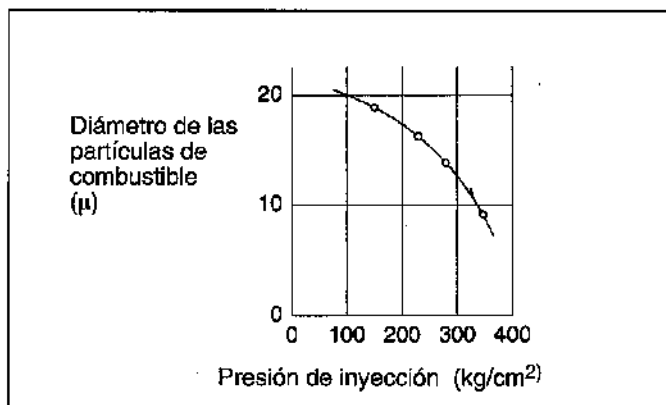


Figura 7-8 Presión de inyección y diámetro de las partículas de combustible

② Diámetro de los orificios de inyección

Cuando el diámetro de los orificios de inyección disminuye, la superficie del combustible inyectado para un volumen dado aumenta. Como resultado, la fricción aumenta y causa la disminución del tamaño de las partículas. (Refiérase a la figura 7-9)

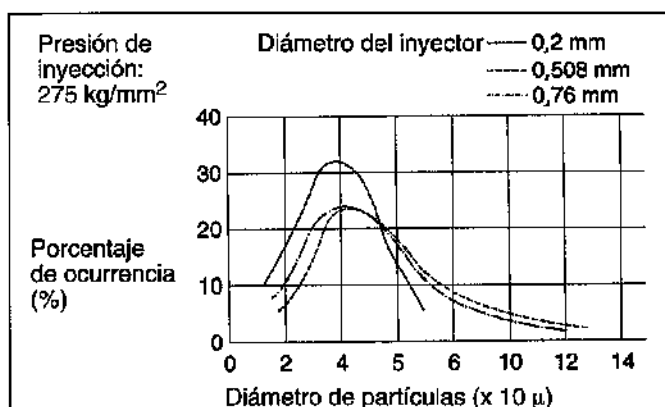


Figura 7-9 Diámetro del inyector y diámetro de partículas

③ Contrapresión

A medida de que la contrapresión aumenta, la fricción del aire y el diámetro de las partículas disminuyen. Sin embargo, la contrapresión no afecta la dimensión de las partículas en la medida que lo hace la presión de inyección. (Refiérase a la figura 7-10)

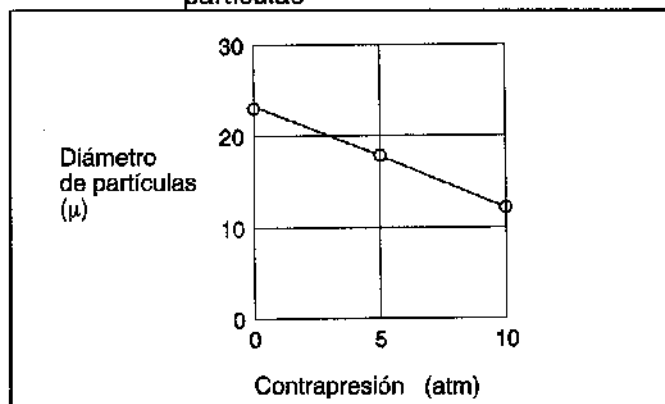


Figura 7-10 Contrapresión y diámetro de partículas

④ Velocidad de inyección y turbulencia

Para reducir la dimensión de las partículas, es más eficaz aumentar la velocidad de la inyección a la salida que incrementar la turbulencia en el orificio de salida de la inyección.

⑤ Temperatura del aire

A medida de que la temperatura del aire aumenta, la viscosidad del aire aumenta y, consiguientemente, la tensión superficial del combustible disminuye y esto causa la reducción del diámetro de las partículas.

⑥ Flujo del aire

Debido a que el flujo de aire incrementa la velocidad relativa entre el combustible atomizado y el aire, mientras más rápido fluye el aire, más eficaz es el efecto del flujo del aire.

b. Penetración de las partículas inyectadas

Si las partículas inyectadas se detienen, ellas son envueltas en el gas de la combustión en vez de contribuir a hacer avanzar la combustión. Por lo tanto, es importante que las partículas de aire sean suministradas con la fuerza que les permita penetrar a través del aire hasta que la combustión termine. Para esto, las partículas mismas tienen un considerable momento. El momento de una partícula de aire es proporcional al cubo de su diámetro, y la resistencia del aire durante el movimiento de las partículas es proporcional al cuadrado de su diámetro, aproximadamente. Así entonces, el aumento de la penetración de las partículas inyectadas requiere que el diámetro de la partícula aumente. Pero esta condición es directamente contraria a las exigencias impuestas por la atomización y descritas en el apartado a.

En la combustión, para utilizar completamente el aire que está en la cámara de combustión, el combustible esparcido por la inyección debe ser distribuido por todas partes en la cámara de combustión. Para conseguir esto, el recorrido de las partículas durante su esparcimiento tiene una considerable importancia. Un cilindro grande requiere un recorrido mayor de las partículas inyectadas. Un cilindro pequeño requiere que el trayecto de las partículas sea más corto para así evitar que las partículas se estrellen contra la camisa del cilindro y se adhieran a ella lo que resultaría en una combustión incompleta. Las diferentes influencias ejercidas por el trayecto de las partículas inyectadas son descritas a continuación.

① Presión de inyección

Hay varias teorías respecto al hecho de saber si la presión de inyección afecta o no el recorrido máximo de las partículas. Sin embargo, dentro del intervalo práctico que es empleado actualmente en la inyección de combustible, se puede decir que el recorrido máximo de las partículas inyectadas es igual a la raíz cuadrada de la presión de inyección.

② Contrapresión

La densidad de la pulverización aumenta en proporción al aumento de la contrapresión. Como resultado de esto, el recorrido de las partículas esparcidas en la inyección se hace más corto.

③ Diámetro de los orificios de las toberas de inyección

La influencia que el diámetro de los orificios de las toberas de inyección tiene en el recorrido de las partículas inyectadas es menor de lo que normalmente se piensa.

Como en el caso de la atomización, el punto en el que las partículas inyectadas alcanzan su máxima velocidad en la tobera es también el punto donde es mayor el recorrido de las partículas esparcidas por la inyección. La relación entre el diámetro "d" de los orificios de las toberas y la longitud "ℓ" del inyector, a la que el trayecto de la pulverización es máximo, es aproximadamente $\ell/d \geq 4$.

c. Dispersión

Durante el proceso de formación de una mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión, hay un lugar que las partículas de combustible no pueden alcanzar, y el aire en dicho volumen de la cámara no puede ser utilizado para la combustión. Inversamente, un lugar o volumen con gran concentración de partículas de combustible no tendrá el aire necesario, y el resultado de esto es la combustión incompleta. Por esto, el combustible inyectado debe repartirse uniformemente por toda la cámara de combustión. La dispersión del combustible también es afectada por la presión de inyección, la contrapresión y la forma de los orificios de las toberas de inyección. Entonces, para conseguir mejorar la dispersión habrá que sacrificar algo de la calidad de la penetración.

(2) Tipos de inyectores

Inyector de orificios

Inyector de tetón o espiga — Inyector de tetón o espiga
o espiga Inyector de tetón de estrangulación

Los inyectores de orificio mostrados en la figura 7-11 son utilizados en los motores de inyección directa. Los inyectores de espiga o tetón son utilizados, principalmente, en motores con precámara, como los motores con precámara de combustión o con los motores con cámara de turbulencia.

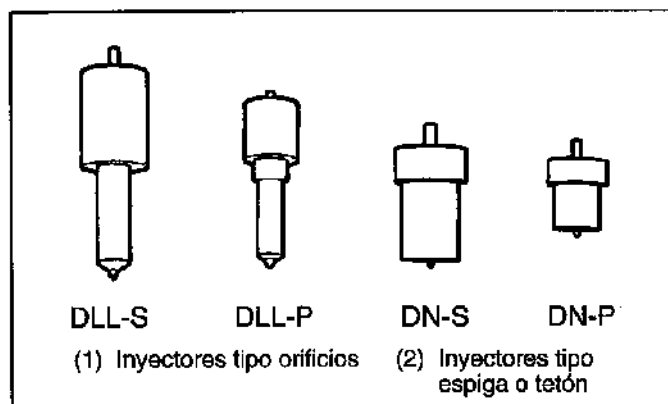


Figura 7-11 Tipos de inyector

(3) Construcción y función

a. Construcción

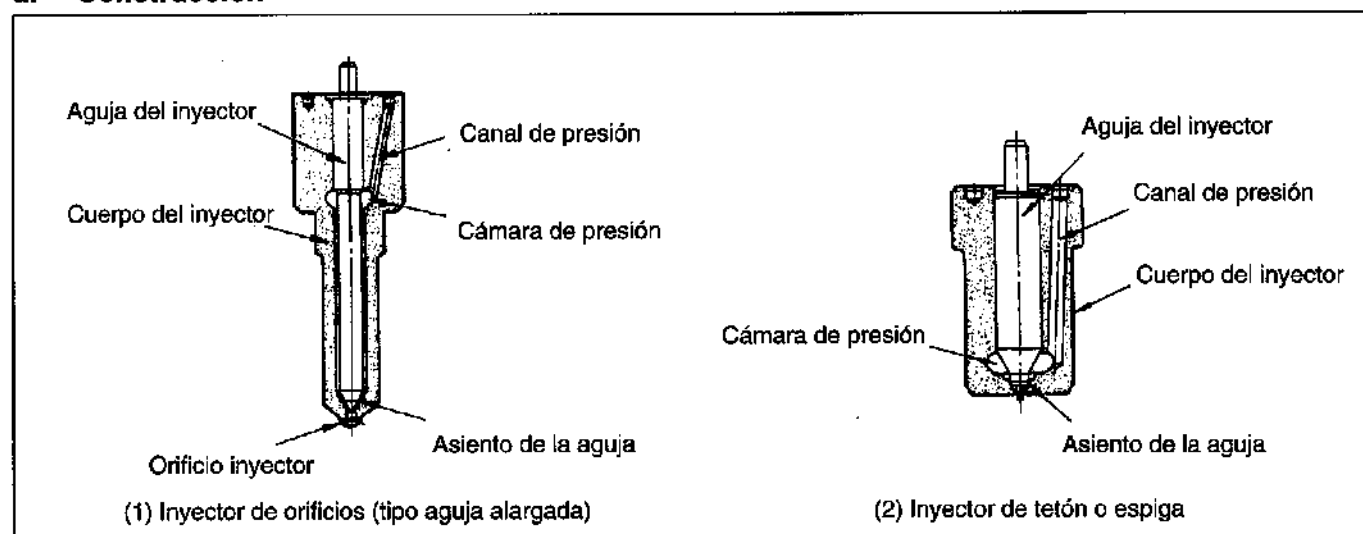


Figura 7-12 Construcción del inyector

Como es mostrado en la figura 7-12, un inyector está constituido por dos partes: el cuerpo del inyector, y la aguja del inyector, también llamada válvula de inyector. El cuerpo del inyector está provisto de un canal de presión (que sirve para el paso del combustible que será suministrado por la bomba de inyección), un taladro central de guía en el cual está insertada la aguja, una cámara de presión, y un asiento para el asiento de la aguja.

La cabeza redondeada de la tobera del inyector de orificios tiene varios orificios inyectores. Estos orificios inyectores permiten que el combustible inyectado por ellos sea pulverizado y dispersado en la cámara de combustión del cilindro.

El inyector de espiga o tetón tiene un solo orificio inyector en la tobera de salida. El extremo de la aguja tiene la forma de pasador que puede ser cilíndrico o cónico —de diámetro ligeramente inferior al del orificio de la tobera— y que se ajusta en este orificio.

Cuando la aguja sube, el espacio anular vacío que deja descarga un chorro pulverizado de combustible. En este tipo de inyector, el ángulo de proyección del combustible y las características de flujo de los orificios de inyección pueden ser variados ampliamente mediante la modificación del ángulo del tetón o de su forma. La figura 7-13 (2) muestra un inyector de tetón de estrangulación que está diseñado para que —al principio de la inyección— estreche la abertura dejada a la inyección (efecto de estrangulación) y amplíe la abertura hacia el fin de la inyección. Esta acción reduce el volumen de combustible que es inyectado durante el período de retraso del encendido. Este procedimiento es un medio eficaz para prevenir el golpeteo diesel que es causado por la presión anormalmente alta producida cuando el combustible que es inyectado durante este período permanece sin quemarse completamente hasta que se autoinflama espontáneamente en forma repentina.

b. Función

Para garantizar la adecuada combustión en la cámara de combustión, un inyector debe presentar las características que permitan completar la atomización, la penetración y la dispersión óptimas. Como substitutos para representar tales características, se utilizan varias combinaciones de características de portainyectores y de agujas de inyector. Estas características de substitución son presentadas a continuación.

[Características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector]

Las características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector representan los cambios del volumen de flujo del orificio inyector en relación con la magnitud del salto (o carrera) de la aguja del inyector. La magnitud total del salto (o carrera) de la aguja del inyector, la longitud de traslapo del tetón de la aguja y el juego que es dejado entre el orificio inyector y el tetón de la aguja son características importantes que determinan el rendimiento del motor. La relación entre las dimensiones de las piezas y el volumen de flujo de combustible del orificio inyector es ilustrada por el gráfico de la figura 7-14.

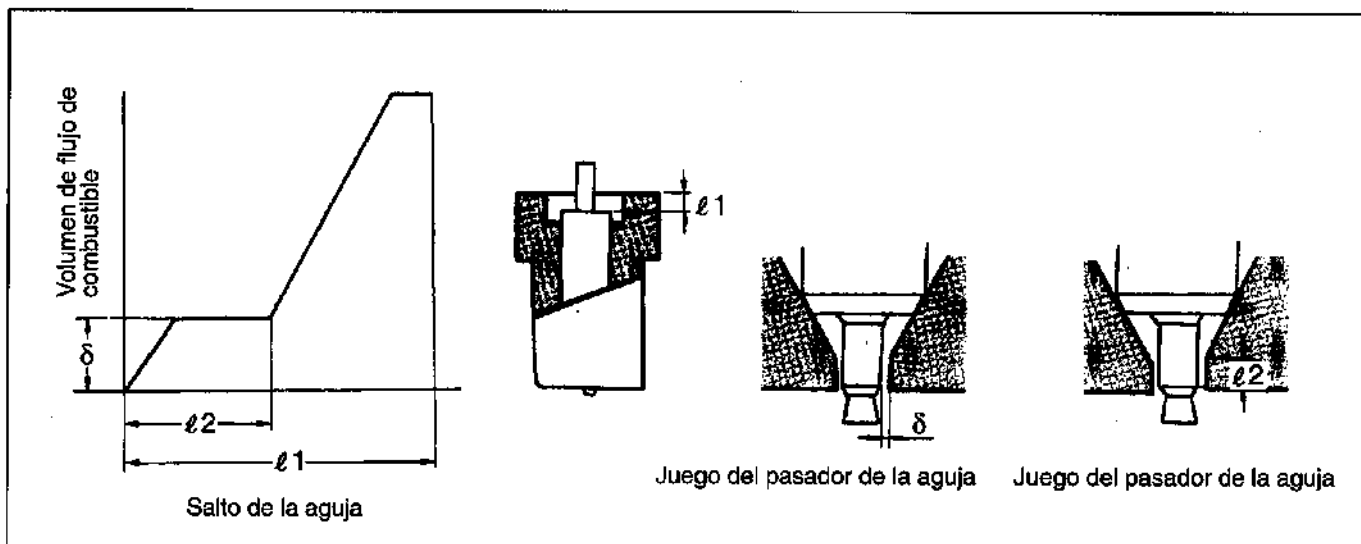


Figura 7-14 Relación entre las dimensiones de las piezas y el volumen de flujo del orificio inyector

[Características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de tetón o espiga]

El inyector de tetón o espiga incorpora un pasador extremo de menor diámetro, que está ajustado en el orificio inyector en el cuerpo del inyector. La longitud de traslape del pasador extremo y el orificio inyector determinan las características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector.

Los inyectores que tienen un traslape cuya longitud ℓ_2 es inferior a 0,20 – 0,25 mm son, generalmente, llamados inyectores de tetón o espiga y aquellos caracterizados por un traslape de longitud ℓ_2 superior a 0,20 – 0,25 mm son, generalmente, llamados inyectores de tetón o espiga de estrangulación. Las características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector son mostradas en la figura 7-15.

Consiguientemente, y debido a que la diferencia entre los inyectores de tetón o espiga de estrangulación reside en la característica del volumen de flujo a través del orificio inyector, es prácticamente imposible distinguirlos basándose solamente en su apariencia externa.

[A] Salto de la aguja y características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de tetón o espiga de estrangulación

La figura 7-16 ilustra la relación que hay entre la magnitud del salto de la aguja y el volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de tetón o espiga de estrangulación.

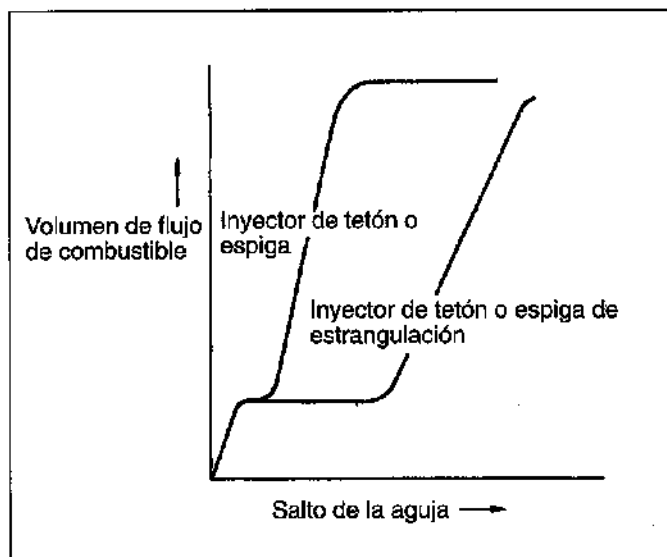


Figura 7-15 Características del volumen de flujo del inyector de espiga o tetón

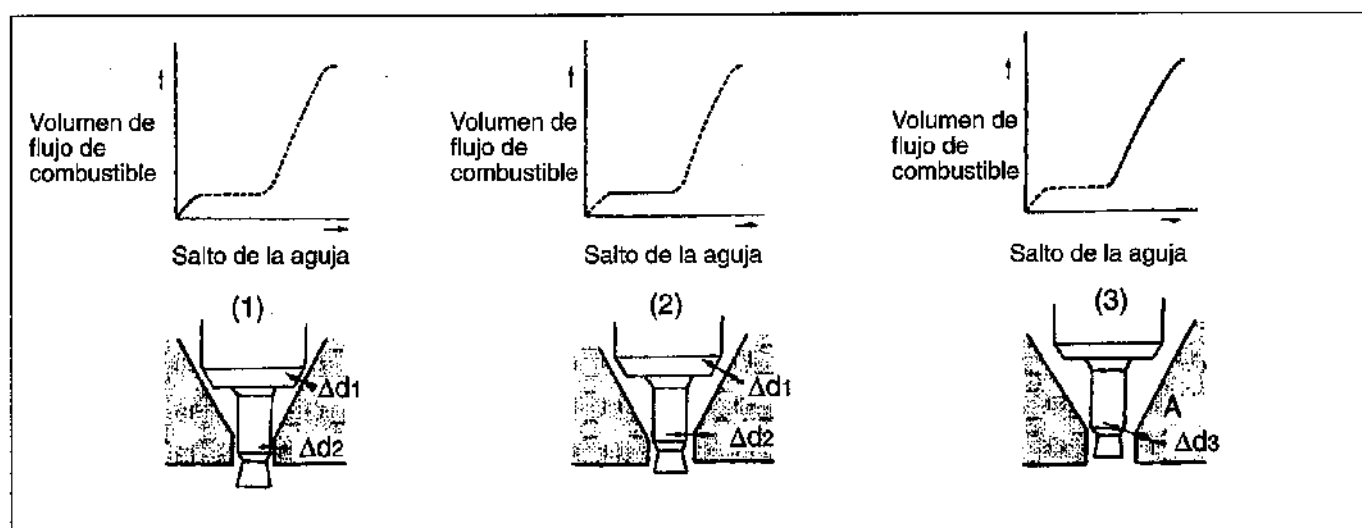


Figura 7-16 Magnitud del salto de la aguja y el volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de tetón o espiga de estrangulación

- Cuando la aguja del inyector empieza a ascender, un juego llamado Δd_1 se crea en el asiento y a través de él el combustible es inyectado. Al mismo tiempo, un juego Δd_2 es creado entre el pasador de la aguja y el orificio inyector. Sin embargo, porque el área asociada a Δd_1 es menor que la asociada a Δd_2 , el volumen de combustible que es restringido por Δd_1 fluye por el orificio inyector. (Figura 7-16 (1))
- A medida de que la aguja del inyector sube más, y que el juego Δd_1 en el asiento se hace mayor que el juego Δd_2 , el volumen que fluye a través del orificio inyector es restringido por Δd_2 . Sin embargo, debido a que el pasador de la aguja forma una línea recta durante este período, el cambio del volumen de flujo en relación con el volumen de subida no será idéntico al presentado en la figura 7-16 (2). La longitud de esta porción es proporcional a la "longitud de traslape de la aguja".

- Como es mostrado en la figura 7-16 (3), cuando la porción en línea recta del pasador de la aguja sube y sobrepasa el punto A del asiento, el volumen de flujo de combustible del orificio inyector es regulado por el juego que es formado por la pendiente del perfil de la aguja y el punto A. El resultado es que el volumen de flujo del orificio inyector varía de acuerdo con la magnitud del salto o carrera de la aguja del inyector.

Como ha sido descrito hasta ahora, en el caso del inyector de tetón o espiga de estrangulación, el volumen de la inyección es restringido durante las etapas iniciales del salto o carrera de la aguja, este juego aumenta hacia el final de esta carrera, y entonces inyecta el volumen requerido de combustible. Así entonces, debido a que se inyecta el volumen de combustible requerido por el proceso de combustión en el motor, el incremento de la presión interna de la cámara de combustión tiene lugar en forma relativamente gradual. Además, debido a que la combustión se realiza en forma uniforme y suave, los golpeteos del motor diesel pueden ser evitados. Consiguientemente, los inyectores de tetón o espiga de estrangulación son utilizados en los automóviles con motor diesel, en los cuales el ruido tiene una importancia considerable.

[B] Salto de la aguja y volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de espiga o tetón

La longitud de traslape de la aguja en los inyectores de espiga o tetón es más corta que en los inyectores de estrangulación. Así entonces, a diferencia del inyector de estrangulación, el inyector de espiga o tetón prácticamente no tiene período de inyección inicial (período de efecto de estrangulación). Como es mostrado en la figura 7-17, casi todo el volumen de flujo de combustible es regulado por el juego Δd en el asiento. Así entonces, el volumen de flujo de combustible del orificio inyector varía de acuerdo con la magnitud del salto de la aguja del inyector.

Los inyectores de espiga o tetón se utilizan en motores en los que lo importante es la potencia útil de salida.

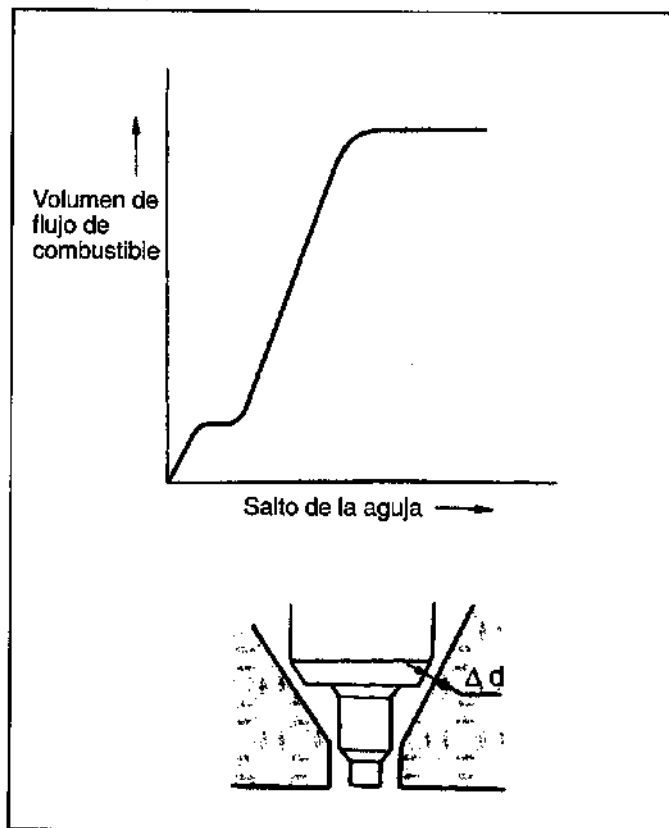


Figura 7-17 Salto de la aguja y volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de espiga o tetón

[Características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de orificios]

La figura 7-18 ilustra el volumen de flujo de combustible del orificio inyector de los inyectores de orificios de tipo convencional. Como lo ilustra la línea "B" en la figura 7-18, también hay algunos inyectores de orificios de tipo especial que tienen un efecto de estrangulación durante la etapa inicial del salto de la aguja.

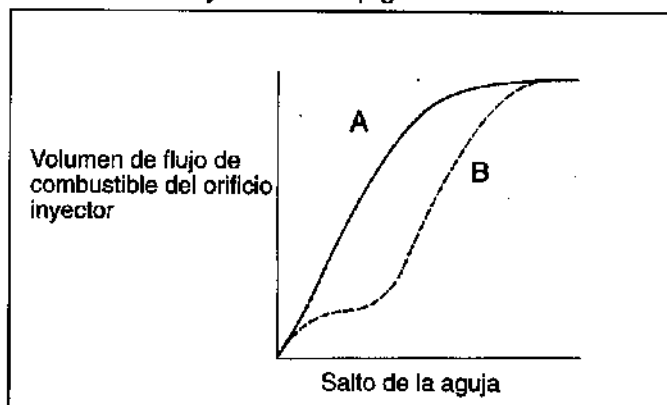


Figura 7-18 Características del volumen de flujo de combustible del orificio inyector del inyector de orificios

c. Características del patrón de pulverización

La forma del combustible atomizado que es el resultado de la inyección se denomina característica del patrón de pulverización, y representa directamente las características de atomización, penetración y dispersión del combustible.

Un emisor de luz estroboscópica es utilizado para verificar o chequear la característica del patrón de pulverización. Las luces estroboscópicas son sincronizadas con el combustible inyectado desde el inyector para observar directamente el ángulo de inyección del combustible, separación e inclinación. Durante el test estroboscópico, un blanco es colocado en una posición que es determinada por el tipo de inyector. El estado del combustible atomizado que es proyectado sobre este blanco debe ser observado para verificar la característica del patrón de pulverización del inyector. La figura 7-19 muestra un ejemplo típico del patrón de pulverización que es inyectado por un inyector de estrangulación, y observado utilizando un verificador estroboscópico.



Figura 7-19 Testeo con un verificador estroboscópico

d. Característica de fugas

Como es mostrado en la figura 7-20, la característica de fugas es una característica de sustitución que representa el juego que es creado entre el taladro central del cuerpo del inyector y la circunferencia exterior de la aguja. Debido a que este juego, del orden de 2 a 4,5 micras, es obtenido mediante una mecanización de alta precisión, la medición directa es prácticamente imposible. Por consiguiente, el volumen del flujo de aire es medido aplicando una presión de aire predeterminada. Después de haber aplicado una presión hidráulica predeterminada se mide el tiempo que demora el fluido para gotear a una presión predeterminada. Estos valores son utilizados como substitutos de las mediciones directas.

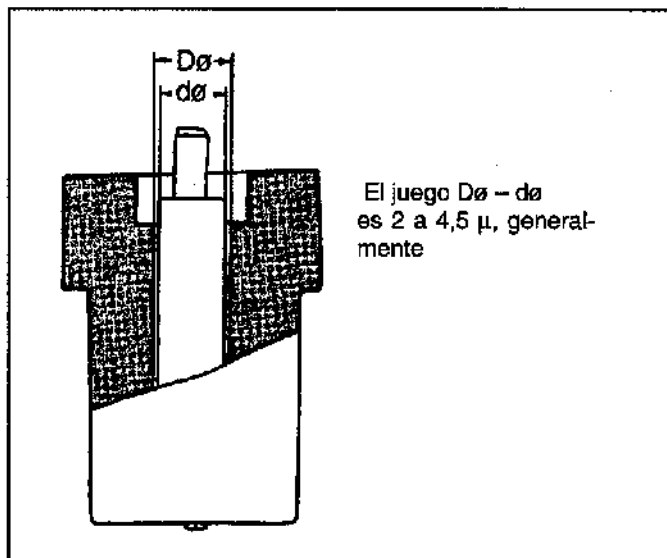


Figura 7-20 Juego en la superficie deslizante de la aguja

El juego es una característica importante para asegurarse de que el inyector mantiene sus propiedades de estanqueidad al gasóleo, y al mismo tiempo previene que el inyector mismo se agarrote.

e. Característica de traqueteo

En el caso del combustible que es suministrado por la bomba de inyección para ser inyectado a través del inyector, la presión del combustible no permanece constante desde el principio hasta el fin de la inyección. Al contrario, se observa cierta fluctuación de la presión. Esta fluctuación de la presión se denomina "traqueteo". Así entonces, la inyección de combustible siempre está acompañada de "traqueteo", que también es perceptible como una pulsación sonora. Pero, en la realidad, esta pulsación sonora no es perceptible como un sonido propiamente tal sino que se la percibe mediante el sentido del tacto cuando se aplica una mano sobre la palanca del comprobador manual de bomba mostrado en la página 135. La pulsación sonora varía con el movimiento de la aguja del inyector y la integridad del asiento de la aguja.

Conocido con los nombres de cualidades de "corte" y de "goteo", esto es una característica importante que afecta el rendimiento de un inyector. Sin embargo, debido a que esto es estimado mediante el tacto —como se acaba de describir— dicho fenómeno debe ser analizado cuidadosamente, tomando en consideración el hecho de que las variaciones de las condiciones de prueba afectan fácilmente esta característica.

(4) Funcionamiento

El inyector de orificios tiene un orificio inyector de forma cilíndrica en la parte redondeada del cuerpo del inyector. En el caso del inyector de tetón, la porción terminal —en forma de pasador— en la punta de la aguja del inyector sobresale entrando en el orificio inyector, y forma una pulverización o inyección de forma anular. Aunque la forma atomizada del combustible inyectado por el inyector de tetón difiere de la forma del inyector de orificios, el principio de funcionamiento es idéntico.

El combustible que es suministrado por la bomba de inyección fluye a través del conducto de alimentación de combustible a presión, del cuerpo del inyector, hacia la cámara de compresión. El combustible aplica entonces presión a la sección de etapa de presión de la aguja del inyector, la que actúa con fuerza para mover la aguja hacia arriba.

Entretanto, la fuerza del resorte de presión comprime —mediante el pasador de presión— la aguja del inyector, o válvula del inyector, contra el asiento del cuerpo del inyector. Consiguientemente, cuando la presión P_o del combustible (que aplica una presión hacia arriba para

hacer subir la aguja) se hace mayor que la fuerza P_s del resorte de presión, la aguja del inyector sale de su asiento y sube permitiendo así la inyección del combustible. Después que termina el suministro de combustible procedente de la bomba de inyección y que la presión del combustible decrece, la fuerza del resorte de presión empuja la aguja del inyector hacia su posición inicial en el asiento, y así se termina el ciclo de inyección de combustible.

Este proceso es descrito a continuación en mayor detalle, trazando el trayecto del combustible desde su salida de la bomba de inyección, a través del tubo de impulsión o tubo de alta presión para llegar finalmente al inyector.

La leva de la bomba de inyección gira para levantar el émbolo, que aplica presión al combustible en la cámara de presión. Al mismo tiempo que el combustible hace que se abra la válvula de impulsión de combustible, el combustible es suministrado al tubo de impulsión. Como es mostrado en la figura 7-22, la presión del combustible en este tramo aumenta hasta el valor P_u . En forma de ondas de presión y ondas de velocidad, el combustible se desplaza a la velocidad del sonido (aproximadamente 1400 m/s en el caso del gasóleo o gas-oil) hacia el inyector. El combustible llega al inyector después del tiempo que puede ser calculado dividiendo la longitud del tubo de impulsión por la velocidad del sonido. Esto hace que la presión de combustible en el inyector también aumente. Sin embargo, debido a que esta presión no es suficiente para levantar la aguja, la presión es reflejada de vuelta hacia la bomba en la forma de P_r . Entonces, la onda reflejada y la onda de suministro procedente de la bomba son combinadas en la fórmula $P_u + P_r$, así alcanzan la presión de abertura de la aguja y levantan la aguja del inyector para que el combustible pueda ser inyectado a partir de la tobera del inyector. Cuando la aguja sube, la presión de combustible baja momentáneamente porque el volumen en el sistema de inyección de combustible aumenta y parte del combustible es inyectado. Sin embargo, porque la presión de la onda de suministro es considerable, la inyección de combustible muestra cierta fluctuación de la presión (pulsación) hasta que la presión del combustible aplicada debajo de la aguja disminuye a valores inferiores a la presión de abertura del inyector (levantamiento de la aguja). La figura 7-22, que muestra la condición de propagación de las ondas de presión, ilustra la forma cómo son transmitidas las ondas de presión de combustible en el tubo de impulsión o de alta presión.

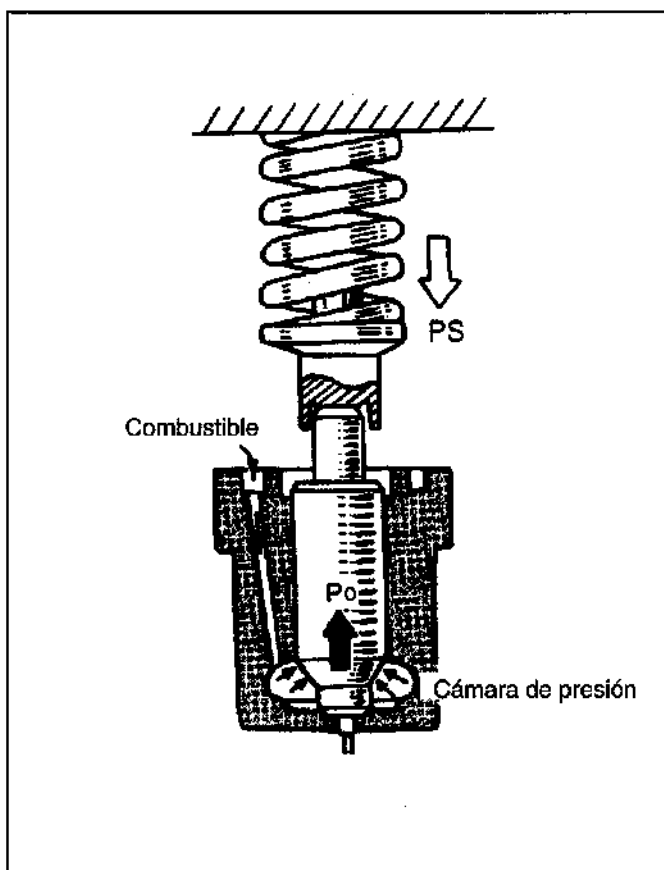


Figura 7-21 Funcionamiento del inyector

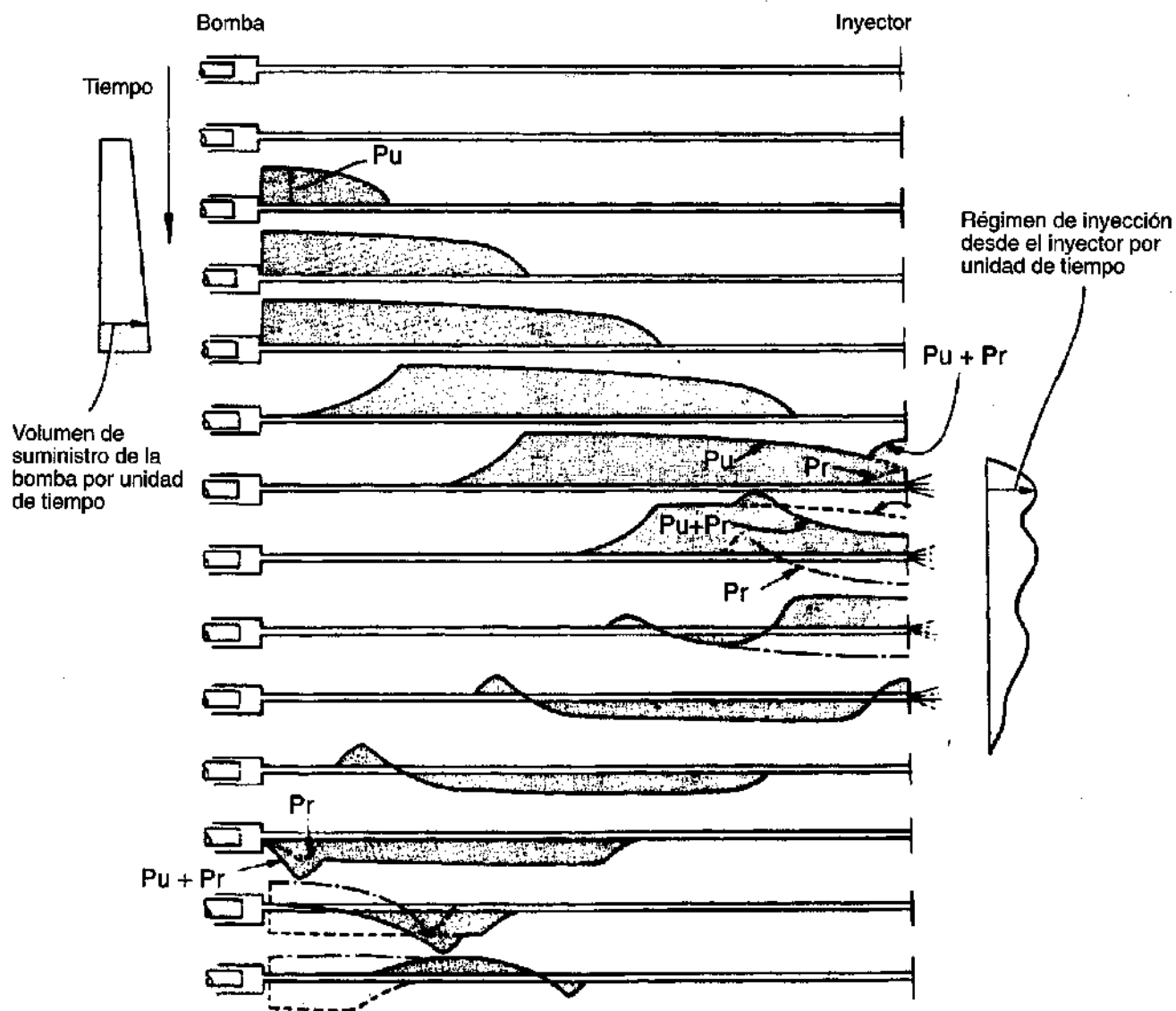


Figura 7-22 Condiciones de propagación de las ondas de presión en el sistema de inyección

(5) Presión de abertura de la aguja del inyector y presión de cierre de la aguja

La presión de combustible que excede el valor de la presión hacia abajo ejercida por el resorte de presión —y que entonces permite que la aguja del inyector suba— se denomina presión de abertura de la aguja del inyector (también llamada presión de abertura del inyector). Esta presión es expresada por la fórmula siguiente:

$$P_o = \frac{F_s}{A_n - A_s} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Expresión en la que:

- Po: Presión de abertura de la aguja del inyector . . kg/cm²
- Fs: Fuerza ejercida por el resorte de presión . . . kg
- An: Superficie de la sección del taladro de guía de la aguja del inyector cm²
- As: Superficie de la sección del asiento de la aguja del inyector cm²

Después de que la aguja ha sido levantada, la inyección tiene lugar, el émbolo completa su bombeo y la presión de combustible disminuye. Cuando la presión de combustible llega a ser menor que la presión de cierre de la aguja Pc, la aguja vuelve a su asiento y así se termina la inyección.

La presión de cierre de la aguja Pc en este momento es expresada por la fórmula:

$$P_c = \frac{F_s}{A_n} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Esta presión es inferior a la presión de abertura de la aguja. Sin embargo, en la realidad de las cosas, estas piezas no funcionan tan perfectamente como lo predice la fórmula, y esto es debido a influencias tales como la inercia y a la fricción de la aguja del inyector y de otras piezas, así como a la condición del flujo de combustible. Para asegurarse de que no habrá goteo alguno, la aguja del inyector debe levantarse fácil y suavemente en respuesta a la presión del combustible, y debería retroceder completamente después de la inyección del combustible. Para facilitar esto, la superficie deslizante y la superficie cónica del asiento están terminadas con mecanizado de alta precisión.

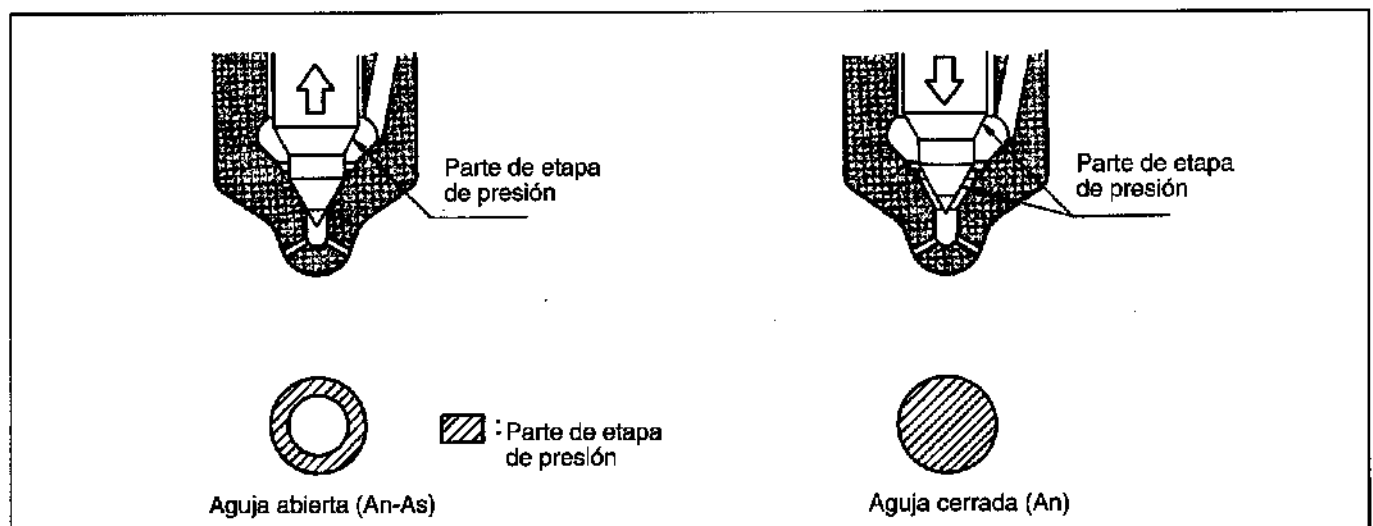


Figura 7-23

(6) Prueba de rendimiento

a. Ajuste de la presión de abertura del inyector

A continuación se presenta un procedimiento que utiliza un comprobador manual de presión para ajustar la presión de abertura del inyector de la manera siguiente: Si el inyector que se utiliza es del tipo que tiene un tornillo de ajuste para ajustar la presión, en primer lugar afloje el tornillo de ajuste y rápidamente pulverice varias veces líquido comprobador. Enseguida, apriete un poco el tornillo de ajuste para incrementar la presión de abertura del inyector pasando de baja a alta presión. En este test o prueba, a medida de que el indicador del medidor de presión muestra un aumento gradual de la presión, el momento en que se ha llegado a la presión de abertura está indicado de manera precisa por el momento cuando la lectura del medidor baja.

b. Prueba de estanqueidad del asiento de la aguja

Esta prueba o test también es denominada prueba de goteo. En primer lugar, ajuste el comprobador manual de presión a una presión prescrita de abertura del inyector. Enseguida, lentamente comprima la palanca hasta que la presión suba a una presión que sea 10–20 kg/cm² inferior a la presión de abertura del inyector (no debe haber inyección). El inyector está en buen estado si puede mantener esta presión durante aproximadamente 10 segundos sin gotear.

c. Prueba de traqueteo (sonido de pulsaciones)

El traqueteo es un sonido muy agudo, de alta frecuencia, que es emitido durante el funcionamiento normal de la aguja del inyector. Sin embargo, en el caso del comprobador manual de presión, esta prueba se hace mediante el tacto más bien que mediante el sonido propiamente tal emitido por el inyector.

En esta prueba, se considera que un inyector está en buen estado si durante la prueba no se detecta la "ausencia de traqueteo" (o goteo). La "ausencia de traqueteo" es la falta de traqueteo cuando se bombea con la palanca del comprobador manual de presión, lo que indica que la aguja no funciona y está fuera de servicio. La intensidad, por así decirlo, del traqueteo varía considerablemente en función de la velocidad con que se empuja hacia abajo la palanca del aparato, depende también de la cantidad de apriete de la tuerca de fijación, del estado del fluido de prueba, y del tipo de inyector que es comprobado.

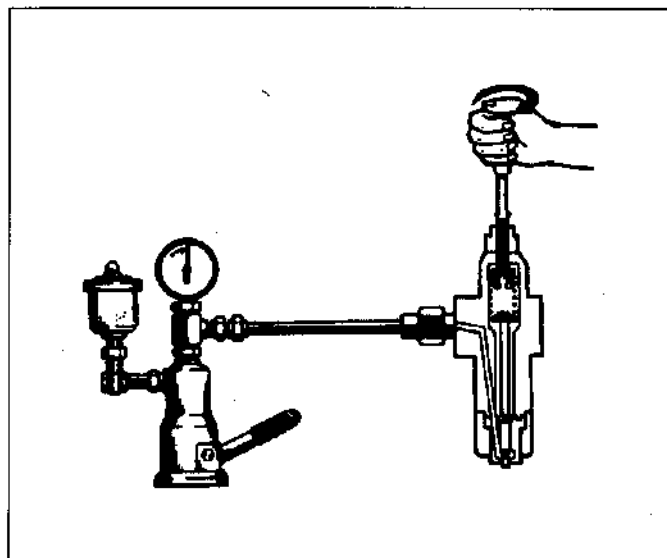


Figura 7-24 Ajuste de la presión de abertura del inyector

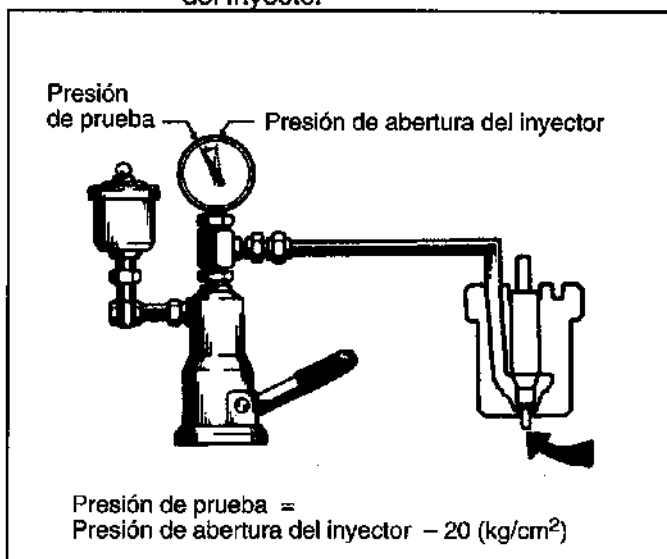


Figura 7-25 Prueba de estanqueidad del asiento de válvula

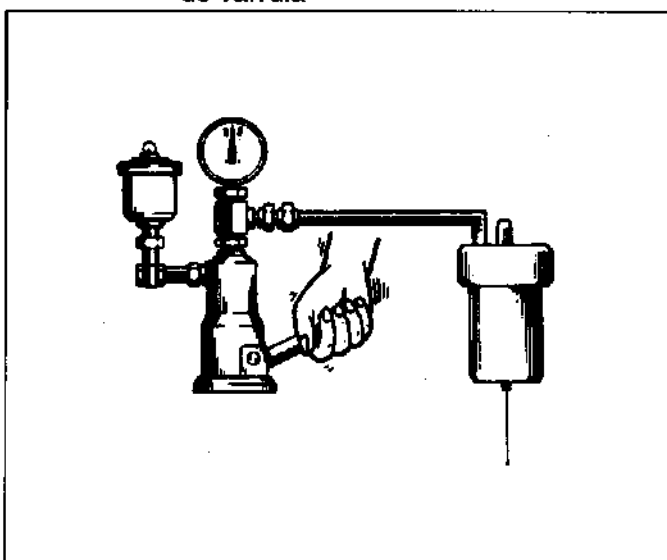


Figura 7-26 Comprobación del traqueteo

Después de haber completado un test manual de bomba, un inyector que manifieste un pequeño goteo en el fondo del orificio inyector puede ser utilizado sin problema alguno. En efecto, cuando el inyector esté montado en el motor, el efecto de retracción creado por la válvula de impulsión o entrega por reaspiración de combustible –instalada en la bomba de inyección– se encargará de evitar la repetición de este síntoma.

d. Patrón de pulverización

Es imposible efectuar una determinación adecuada del patrón de pulverización sin recurrir a un comprobador estroboscópico. Sin embargo –solamente como referencia–, un comprobador manual de presión puede ser utilizado para observar un patrón de pulverización. Hasta que el inyector emita su ruido de traqueteo durante la pulverización de inyección, dicha pulverización puede limitarse a una forma de chorro único que no es atomizado y que incluso puede ser irregular. Se puede considerar que el inyector está en condiciones de ser utilizado siempre que su patrón de pulverización, dirección y atomización no sea demasiado malo mientras el inyector emite su característico traqueteo.

De los inyectores con ángulo de pulverización entre 15° y 40° , se puede utilizar el inyector mostrado en la figura 7-27 ②.

e. Prueba de deslizamiento de la aguja

Limpie bien el cuerpo del inyector y la aguja con gas-oil, gasóleo, limpio y fresco. Incline el cuerpo de un ángulo de 60° , tire de la aguja un tercio de su longitud, aproximadamente, y suéltela. Si la aguja y el cuerpo del inyector están en buen estado, entonces la aguja se deslizará hacia abajo dentro el cuerpo por la única acción de su peso.

Gire la aguja aproximadamente 120° cada vez para variar su posición con relación al cuerpo del inyector. Compruebe el comportamiento de la aguja en tres posiciones.

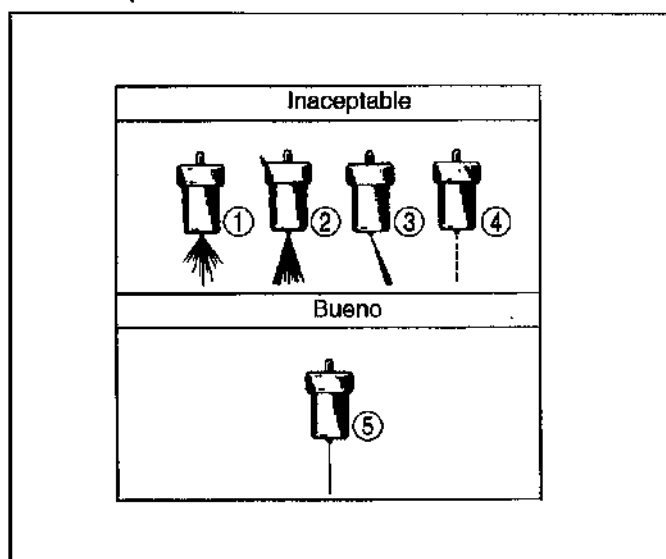


Figura 7-27 Patrón de pulverización

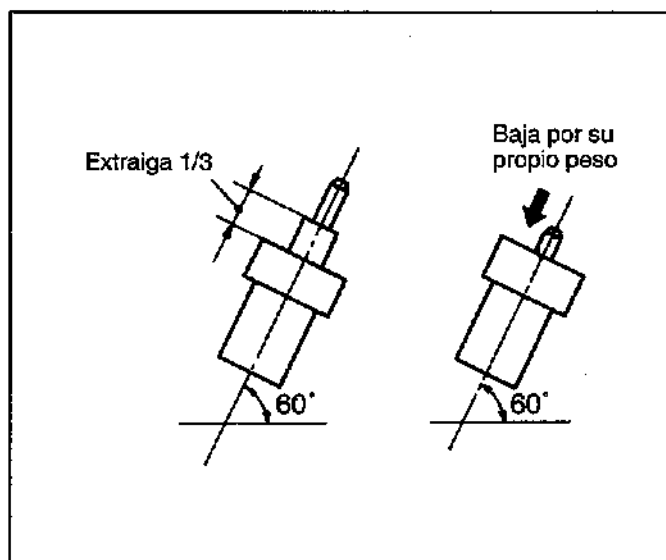


Figura 7-28 Prueba de deslizamiento de la aguja

(7) Precauciones para la manipulación y servicio

- El cuerpo del inyector y su aguja deben ser siempre reemplazados como un solo conjunto.
- Limpie y monte las piezas en gasóleo, gas-oil, fresco y limpio (preferentemente, lave antes las piezas en gasolina –bencina, nafta– antes de lavarlas en gasóleo).
- Antes de apretar la tuerca de retención al par de apriete especificado, asegúrese de aflojar el resorte de presión (en el caso de los inyectores tipo KB y KD).

Tenga mucho cuidado cuando apriete la tuerca de retención. El apriete excesivo de la tuerca de retención puede causar la deformación del cuerpo del inyector y la consecuente reducción del juego en su parte deslizante. Esto podría impedir que la aguja del inyector se deslice suavemente, y, además, hacer que se agarrote.

- Cuando monte el portainyector en el motor, asegúrese de no apretarlo excesivamente o de no apretarlo irregularmente.

DENSO CORPORATION
DEPARTAMENTO DE SERVICIO

Kariya, Aichi, Japón

Primera edición: Junio de 1997

Nº de publicación: P2ZSS-01

Nº de pedido: 990005-1830

Impreso en los Países Bajos

DENSO CORPORATION

990005-1830 (P2ZSS-01)

9706-IT-500

IMPRESO EN LOS PAÍSES BAJOS