



8

El sistema de distribución

para empezar...

El sistema de distribución es el encargado de dar movimiento a las válvulas de forma que su apertura y su cierre estén sincronizados con el desplazamiento del pistón para hacer posible el intercambio de gases en el cilindro.

El mando se realiza desde el cigüeñal, que transmite su giro al árbol de levas con una relación de 2 a 1. Las levas se encargan de accionar las válvulas a través de empujadores o balancines.

... vamos a conocer

1. El sistema de distribución
2. Disposiciones de la distribución
3. Mando de la distribución
4. Válvulas
5. Árbol de levas
6. Elementos intermedios

PARA PRACTICAR

Determinar el diagrama de distribución del motor

qué sabes de...

1. ¿Qué misión cumple el sistema de distribución en un motor?
2. ¿Qué elemento establece las cotas de distribución?
3. ¿Qué sistemas de transmisión existen entre el cigüeñal y el árbol de levas?
4. ¿Por qué es necesario el juego de válvulas?
5. ¿En qué consisten los taqués hidráulicos?

y al finalizar...

- Conocerás el sistema de distribución y sus diferentes disposiciones.
- Analizarás los diferentes sistemas empleados en el accionamiento de la distribución.
- Conocerás las características de cada uno de los componentes de la distribución.

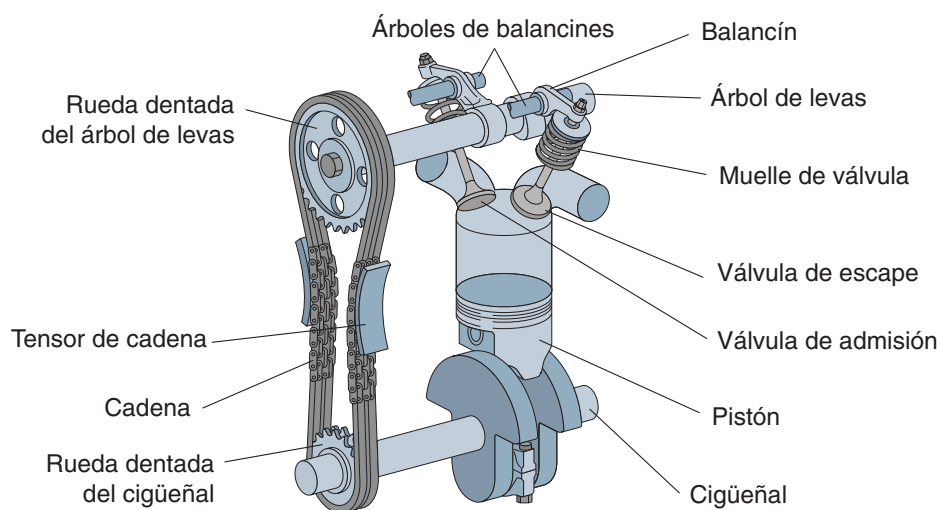
1. El sistema de distribución

La distribución comprende el conjunto de elementos que efectúan la apertura y cierre de las válvulas. Mediante las válvulas se controla la entrada y evacuación de los gases en el cilindro, lo que hace posible la realización del ciclo de cuatro tiempos según el diagrama de distribución.

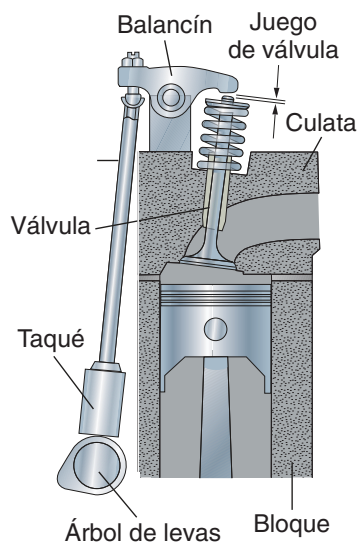
Los elementos que componen el sistema de distribución son (figura 8.1):

- Árbol de levas, rueda dentada y sistema de transmisión.
- Válvulas, guías, asientos y muelles.
- Empujadores, balancines y sistema de reglaje de válvulas.

El accionamiento de las válvulas está sincronizado con el desplazamiento del pistón, por lo que el sistema es mandado desde la rueda del cigüeñal que transmite su giro al árbol de levas. Las levas abren las válvulas a través de empujadores o balancines, y los muelles se encargan de cerrarlas.



↑ **Figura 8.1.** Componentes del sistema de distribución.



↑ **Figura 8.2.** Sistema OHV.

2. Disposiciones de la distribución

Los sistemas de distribución usados actualmente se pueden dividir en dos grandes grupos, dependiendo de la posición de montaje del árbol de levas:

- **Árbol de levas lateral.** Situado en el bloque de cilindros. Este sistema se denomina **OHV** (*overhead valve*).
- **Árbol de levas en cabeza.** Situado en la culata da lugar a dos sistemas diferentes llamados **OHC** (*overhead camshaft*) y **DOHC** (*double overhead camshaft*).

2.1. Sistema OHV

Se denomina así a la distribución con válvulas en la culata y árbol de levas en el bloque.

La apertura de la válvula se hace desde la leva que, al girar, desplaza hacia arriba el taqué y la varilla de empuje (figura 8.2). Esta última hace bascular el balancín que, por el otro extremo, actúa sobre la válvula abriéndola. Una vez cesa el empuje de la leva, la válvula se cierra por la fuerza del muelle.

Como se puede apreciar, en el sistema OHV existe una gran distancia entre el árbol de levas y la válvula. Esto perjudica la transmisión de movimientos en altas revoluciones, debido a que la masa de los taqués y las varillas provoca fenómenos de inercia.

Otro inconveniente de este sistema es que todos estos elementos de empuje son sensibles a la dilatación longitudinal, por lo que necesitan un juego de taqués considerable.

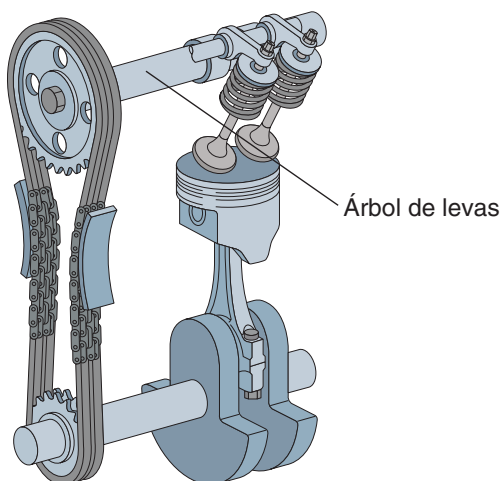
Este sistema tiene la ventaja de que los piñones del cigüeñal y el árbol de levas quedan próximos. Esto facilita el accionamiento del árbol de levas que puede hacerse con una cadena de pequeñas dimensiones o mediante engranajes.

Hasta hace unos años ha sido el sistema más utilizado debido a su sencillez y economía, pero actualmente está cayendo en desuso, ya que el llenado de los cilindros a altas revoluciones es poco eficiente.

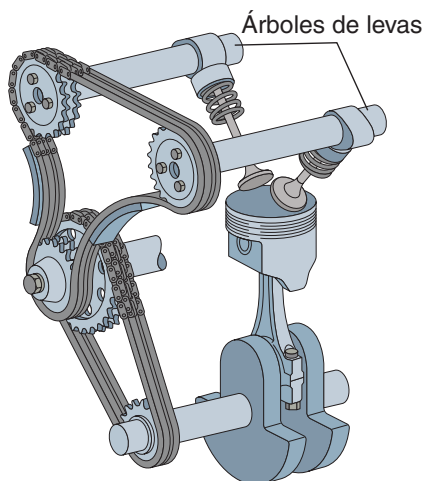
2.2. Sistema OHC y DOHC

En estos sistemas el árbol de levas va montado en la parte superior de la culata. Las válvulas se accionan directamente a través de un empujador o taqué, o bien se interpone un balancín.

- **OHC.** Un solo árbol de levas para admisión y escape (figura 8.3).
- **DOHC.** Dos árboles de levas, uno para admisión y otro para escape (figura 8.4).



↑ Figura 8.3. Sistema OHV.

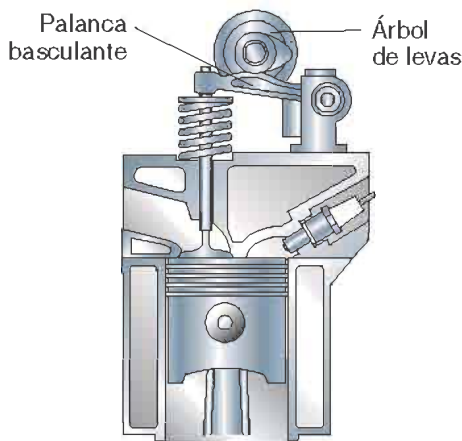


↑ Figura 8.4. Sistema DOHC.

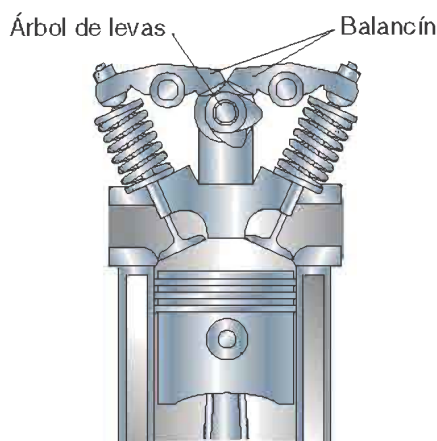
Estas disposiciones presentan claras ventajas respecto al sistema OHV. El accionamiento de las válvulas es más directo, por lo que se reducen los efectos de inercia. De esta forma se pueden alcanzar un número de revoluciones más alto sin que quede afectado el diagrama de la distribución. Las consecuencias de la dilatación también son menos importantes.

En general resulta un sistema más complejo, pero es más efectivo y se obtiene un mayor rendimiento, por lo que está siendo adoptado por la mayoría de los fabricantes. La disposición de doble árbol se emplea, sobre todo, en motores con distribución multiválvulas.

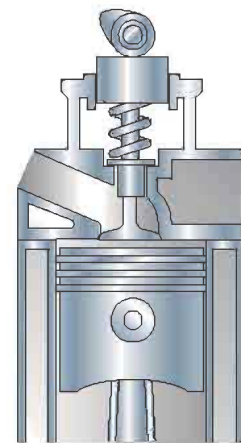
Existen diferentes posibilidades para realizar el accionamiento de las válvulas: sistema OHV y sistema DOHC.



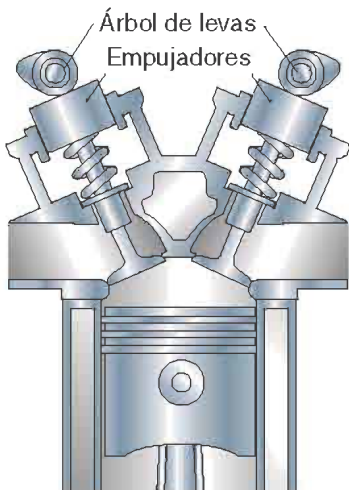
↑ Figura 8.5. Válvulas en línea y palanca basculante.



↑ Figura 8.6. Válvulas en ángulo y balancines.



↑ Figura 8.7. Accionamiento directo de las válvulas.



↑ Figura 8.8. Doble árbol de levas.

Sistema OHC

- Válvulas dispuestas en línea accionadas por palancas basculantes que son empujadas directamente por el árbol de levas (figura 8.5).
- Válvulas en ángulo accionadas por un solo árbol de levas a través de balancines (figura 8.6).
- Válvulas en línea accionadas directamente por el árbol de levas a través de empujadores (figura 8.7).

Sistema DOHC

- Un árbol para las válvulas de admisión y otro para las de escape accionan las válvulas a través de empujadores (figura 8.8).

3. Mando de la distribución

La transmisión de giro desde el cigüeñal al árbol de levas ha de hacerse en una relación de 2 a 1, es decir, por cada dos vueltas de cigüeñal, el árbol de levas dará una (figura 8.9).

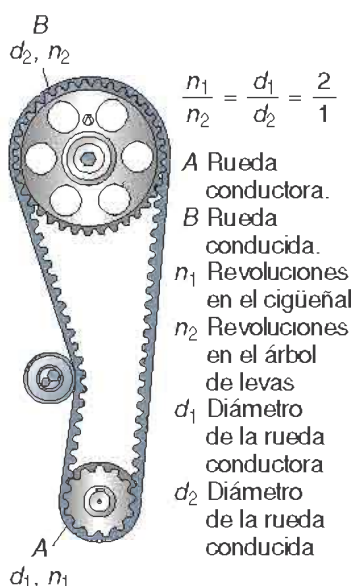
Los cuatro tiempos se realizan en dos vueltas de cigüeñal, sin embargo las válvulas de admisión y escape son accionadas una sola vez durante estas dos vueltas (en los tiempos de compresión y expansión las válvulas permanecen cerradas), por tanto el árbol de levas ha de girar a la mitad de revoluciones que el cigüeñal.

Teniendo en cuenta que, en una transmisión entre ruedas dentadas, el número de revoluciones está en relación inversa al diámetro o número de dientes de las ruedas, el diámetro del piñón conducido (árbol de levas) ha de ser dos veces el del piñón conductor (cigüeñal).

El accionamiento de la distribución se puede hacer mediante uno de los siguientes sistemas:

- Ruedas dentadas.
- Cadena de rodillos.
- Correa dentada.

En todos los casos existen unas marcas sobre las ruedas de ambos árboles para facilitar el calado y puesta a punto de la distribución.



↑ Figura 8.9. Relación de la transmisión en la distribución.

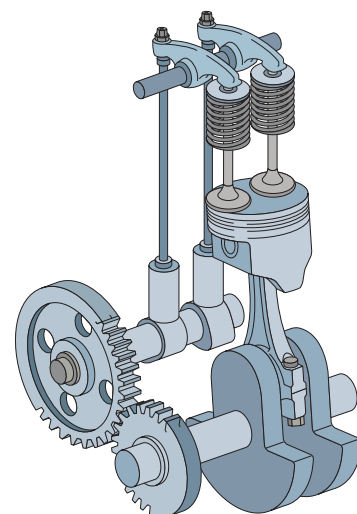
3.1. Accionamiento por ruedas dentadas

Se usa solamente cuando el árbol de levas va montado en el bloque y la distancia entre este y el cigüeñal permite hacer una transmisión directa entre dos ruedas dentadas (figura 8.10).

Si la distancia es algo mayor se intercala una rueda intermedia formándose un tren de tres engranajes. Para reducir la rumorosidad se emplean piñones de dientes helicoidales en los que el contacto entre dientes se hace de forma progresiva.

El conjunto queda encerrado dentro del cárter de distribución y es lubricado por el aceite de engrase del motor.

Este tipo de accionamiento es muy poco utilizado actualmente en motores para turismos.



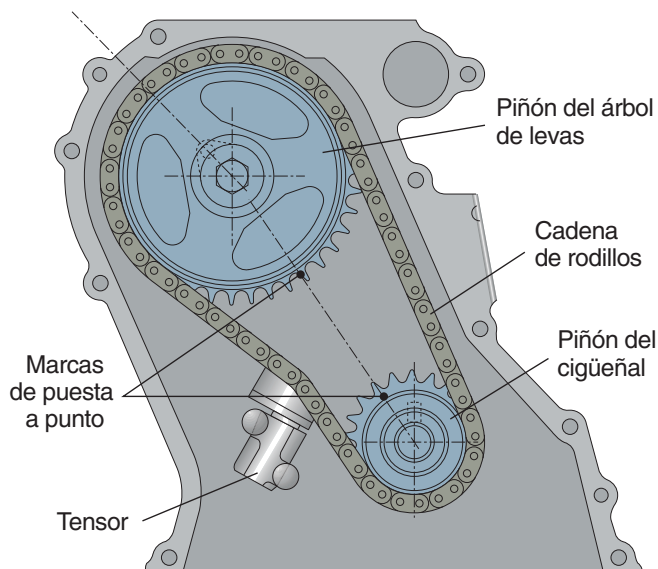
↑ **Figura 8.10.** Accionamiento por ruedas dentadas.

3.2. Accionamiento por cadena de rodillos

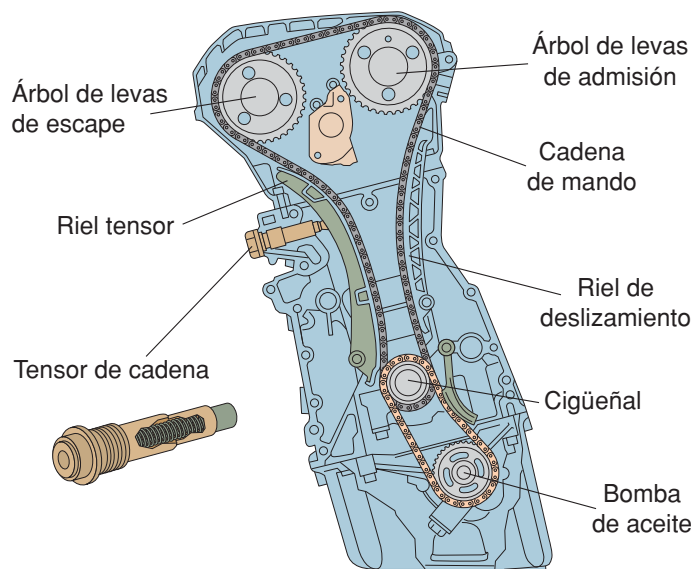
Este sistema puede utilizarse para cualquier distancia entre el cigüeñal y el árbol de levas, vaya este montado en el bloque (figura 8.11) o sobre la culata (figura 8.12).

Está formado por dos ruedas con dientes tallados para ser arrastrados por la cadena de rodillos que puede ser simple o doble.

La cadena es un sistema de transmisión robusto y de larga duración, pero tiene el inconveniente de que con el tiempo, y debido al desgaste, se alarga, produciendo un desfase en la distribución y un aumento en el nivel de ruido. Estos inconvenientes son más apreciables cuanto más larga sea la cadena.



↑ **Figura 8.11.** Accionamiento por cadena de rodillos (OHV).

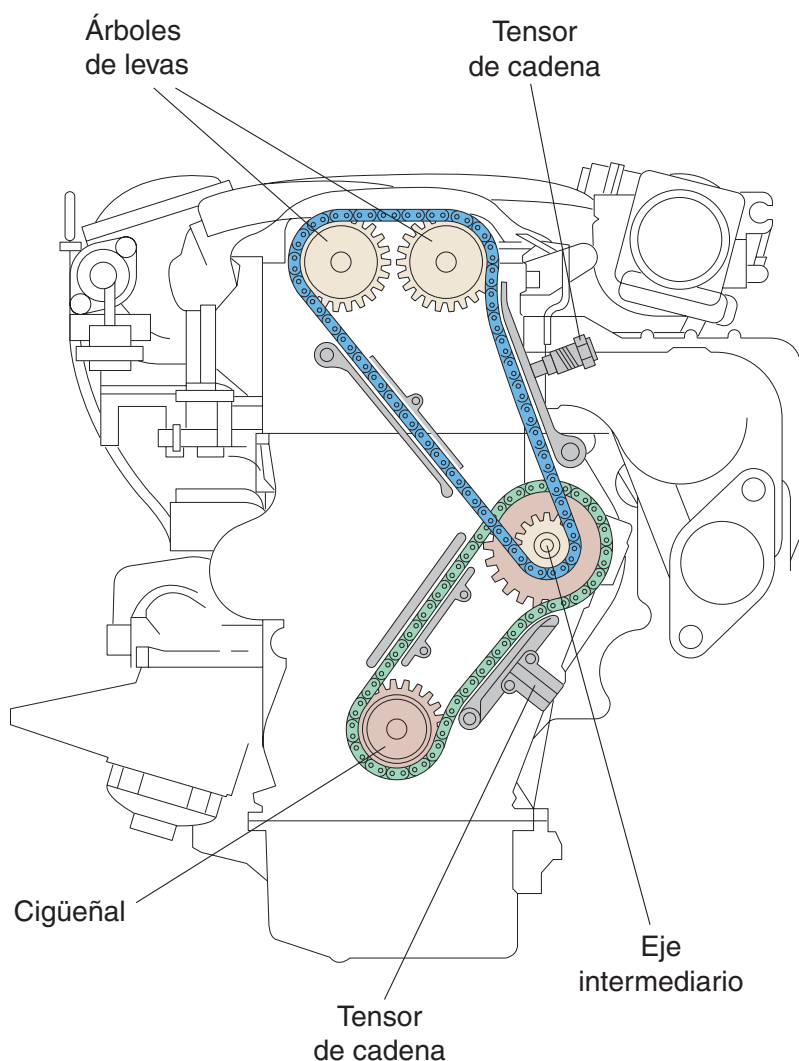


↑ **Figura 8.12.** Accionamiento por cadena de rodillos (OHC).

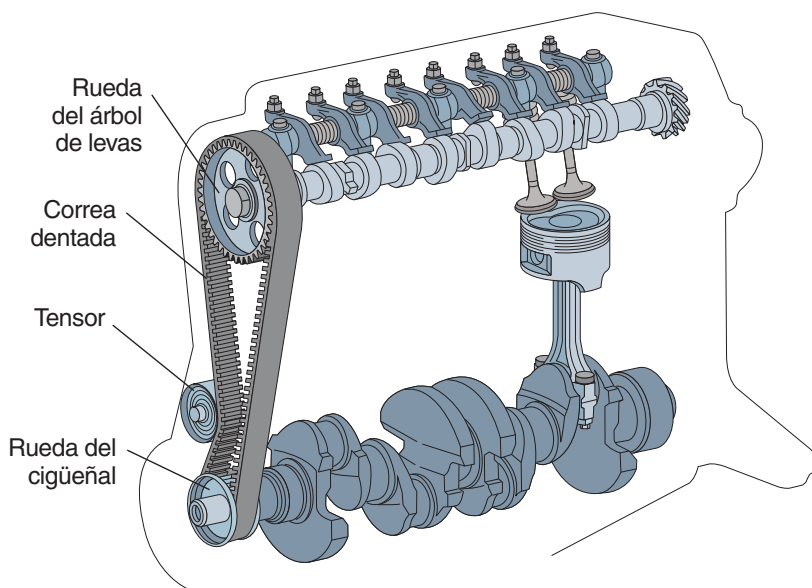
Tensor de cadena

El tensor mantiene tensada la cadena y compensa los efectos del desgaste.

La fuerza que se transmite a través de la cadena, desde el piñón del cigüeñal al piñón del árbol de levas, hace tensar un lado de la cadena. En el otro lado que queda destensado se coloca el tensor. La posición del tensor depende por tanto del sentido de giro de la cadena.



↑ **Figura 8.13.** Distribución DOHC con dos cadenas y piñón intermedio.



↑ **Figura 8.14.** Accionamiento por correa dentada.

El tensor consiste en un taco de caucho sintético, muy resistente al desgaste, que se aplica contra la cadena con una presión constante. Este es capaz de absorber las holguras que van produciéndose a lo largo de la vida del motor, manteniéndola tensa durante el funcionamiento.

La fuerza es ejercida por un resorte, además cuando el motor está en marcha se aplica la presión hidráulica del circuito de engrase.

Las cadenas largas van guiadas mediante rieles que evitan que se produzcan vibraciones con los cambios de régimen del motor. Los rieles guía se montan en el lado contrario del tensor.

Cárter de distribución

El sistema necesita ser lubricado. Con este fin se hace llegar el aceite de engrase del motor hasta el cárter de distribución. La cadena queda impregnada y, al girar, transporta el aceite lubricando todo el sistema.

El cárter se fija mediante tornillos, con interposición de una junta y un retén para el eje del cigüeñal.

La **transmisión por cadena** es el método más empleado en los sistemas OHV. También se usa con sistemas OHC y DOHC, en este caso se necesita una cadena larga que, en ocasiones, resulta ruidosa a altas revoluciones, pero su gran ventaja es que queda exenta de mantenimiento.

Con el fin de evitar los inconvenientes de las cadenas largas, en algunos sistemas se incorpora un piñón intermedio que permite realizar la transmisión mediante dos cadenas más cortas (figura 8.13).

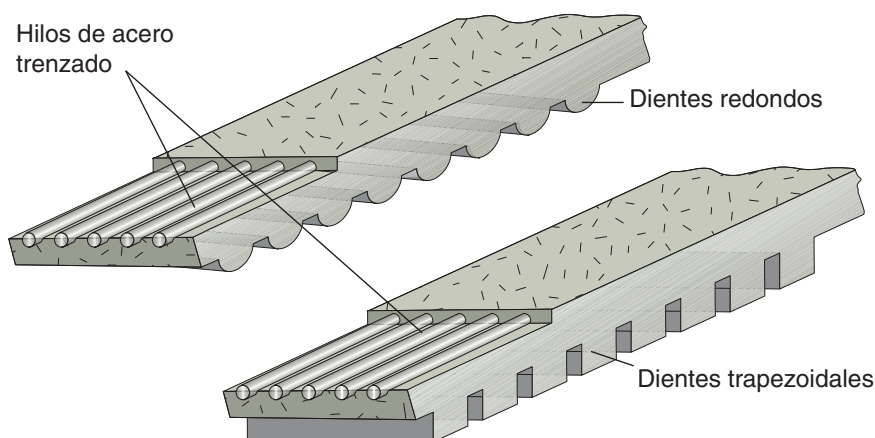
3.3. Accionamiento por correa dentada

Es el sistema de transmisión más utilizado actualmente (figura 8.14).

Se emplea exclusivamente cuando el árbol de levas va montado sobre la culata (sistemas OHC y DOHC). En las ruedas para el accionamiento se talla un dentado igual al de la correa. Este dentado puede ser redondo o trapezoidal.

La correa dentada

La correa (figura 8.15) se fabrica a partir de fibras de alta resistencia o con hilos de acero trenzado recubierto con neopreno o caucho sintético, por lo que resulta muy resistente al estiramiento. La zona del dentado recibe un tratamiento superficial que le proporciona gran resistencia al desgaste.



↑ **Figura 8.15.** Estructura de la correa dentada.

Sus principales ventajas son:

- No requiere lubricación.
- Tiene un funcionamiento silencioso.
- Es relativamente económica.

Sin embargo, tiene el inconveniente de una duración limitada. Por ello, está recomendado como medida de seguridad la sustitución cada 100.000 o 130.000 km de funcionamiento del motor, ya que la rotura de la correa dentada haría que el pistón chocara contra las válvulas produciendo graves daños en el motor.

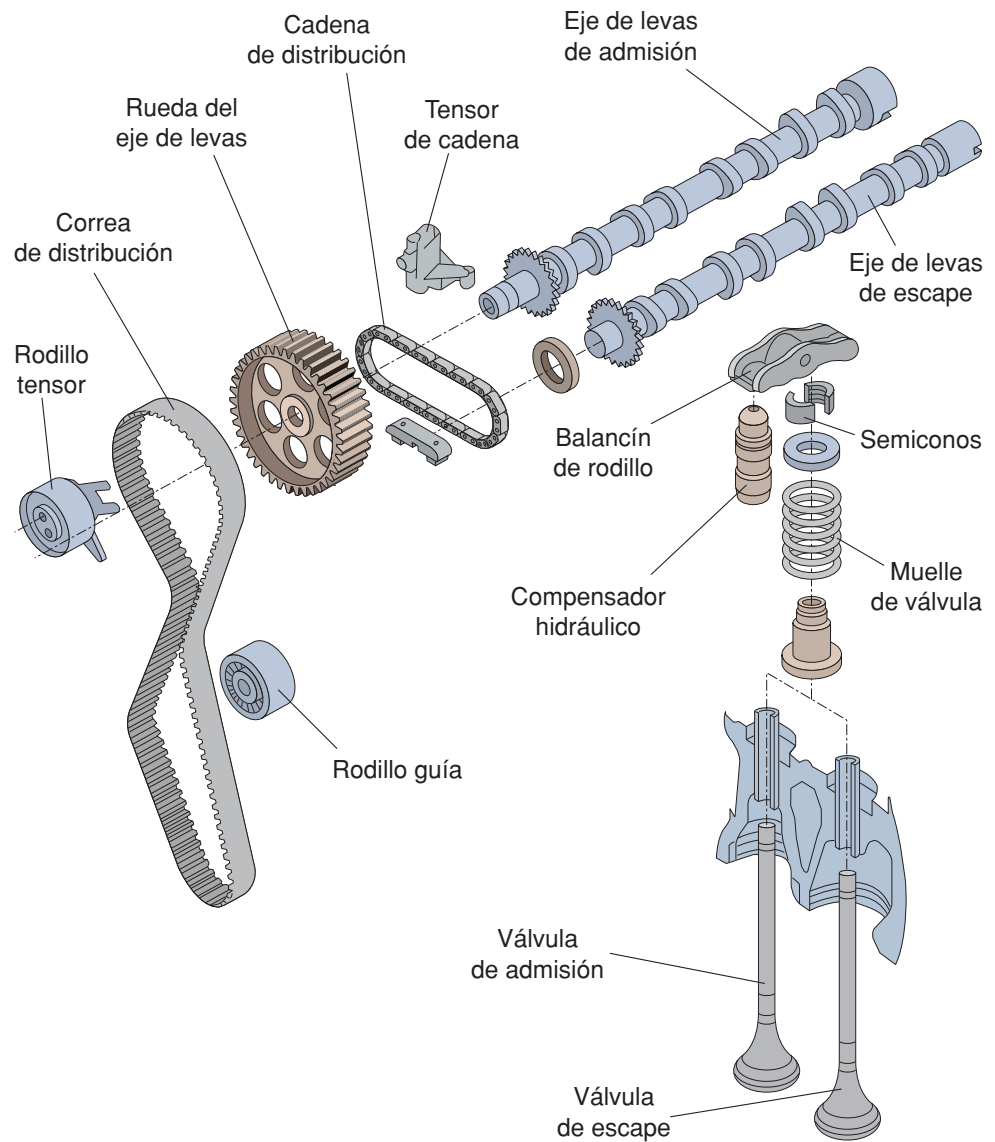
La correa dentada va provista de un tensor cuya correcta regulación es de gran importancia en este sistema. La correcta regulación se consigue utilizando un aparato apropiado llamado **tensiómetro**.

El conjunto queda protegido dentro de una carcasa de material plástico que evita que la correa se impregne de gasolina, aceite o cualquier otro producto que pudiera dañarla.

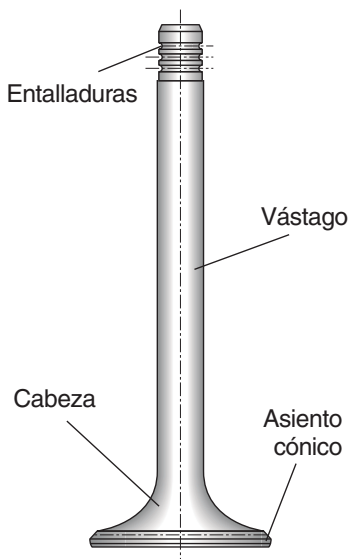
El **montaje del árbol de levas sobre la culata** es actualmente una práctica general en motores para turismos, tanto de gasolina como Diesel. Por otro lado, el método de transmisión más usado en la distribución es el de correa dentada por las ventajas que ofrece en cuanto a economía y ausencia de ruidos.

Otros fabricantes montan el sistema de cadena de rodillos en algunos de sus motores ya que, a pesar de ser más ruidosa, no necesita sustituciones periódicas.

En algunos sistemas **DOHC** se combinan las ventajas de los dos tipos de accionamiento (figura 8.16), utilizando una correa dentada para la transmisión del cigüeñal al árbol de levas de escape y, de este al árbol de admisión, se hace mediante una cadena de rodillos provista de un tensor.



↑ **Figura 8.16.** Distribución DOHC con correa dentada y cadena.



↑ **Figura 8.17.** Partes de la válvula.

4. Válvulas

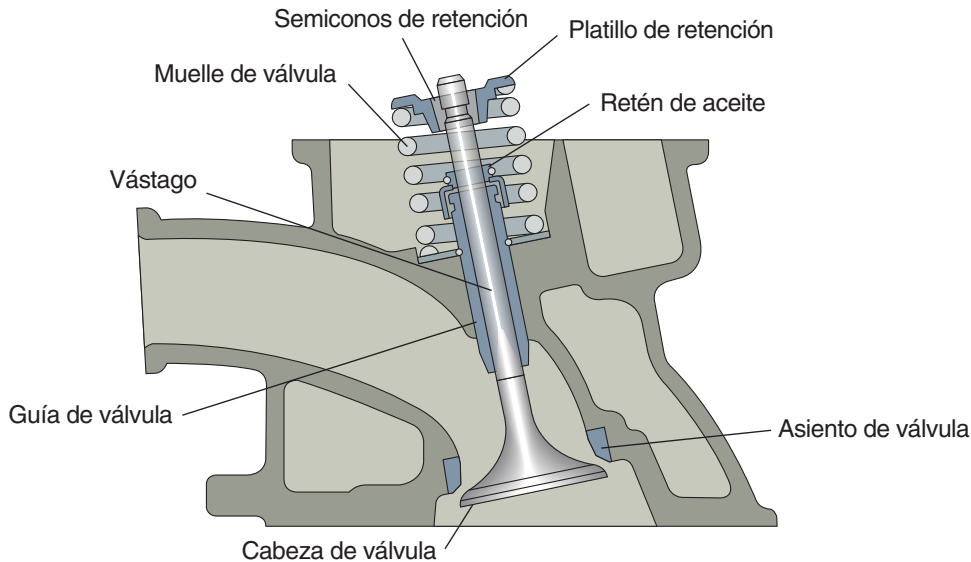
Las válvulas son los elementos que abren los conductos de admisión y escape en sus tiempos correspondientes, y se mantienen cerradas durante los tiempos de compresión y expansión logrando un cierre hermético.

Se monta, al menos, una válvula de admisión y una de escape por cada cilindro, aunque en la actualidad se está extendiendo el uso de dos o más válvulas para cada conducto con el fin de mejorar la respiración del motor.

Están constituidas (figura 8.17) por una cabeza y un vástago. En la cabeza o platinillo se mecaniza una superficie cónica, generalmente a 45° , que constituye la zona de apoyo contra el asiento.

El vástago o cola de la válvula se desplaza axialmente dentro de la guía. En el extremo superior se practica una o más entalladuras para alojar las piezas de anclaje del muelle.

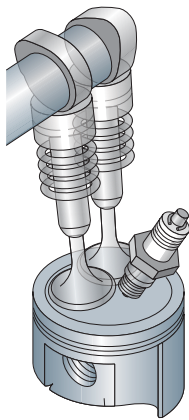
En la figura (8.18) puede verse el montaje de una válvula en su alojamiento. Esta queda fijada por medio de los semiconos o chavetas y el platillo de retención del muelle que, al quedar comprimido, obliga a la válvula a hacer presión contra su asiento.



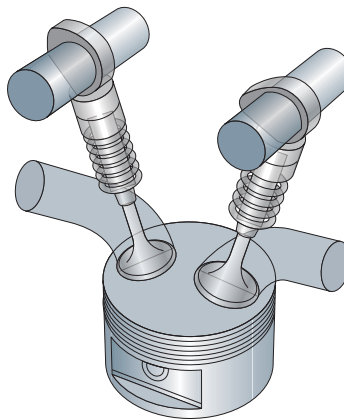
↑ **Figura 8.18.** Válvula montada en su alojamiento.

Para evitar la entrada de aceite a través de la guía se incorpora en su parte superior un retén de aceite.

Las válvulas se montan sobre la culata en línea (figura 8.19), mandadas por un solo árbol de levas, o en doble línea (figura 8.20), formando un ángulo de entre 20 y 60°. Esta disposición favorece el intercambio de gases y permite válvulas de mayores dimensiones.



↑ **Figura 8.19.** Culata con válvulas en línea.



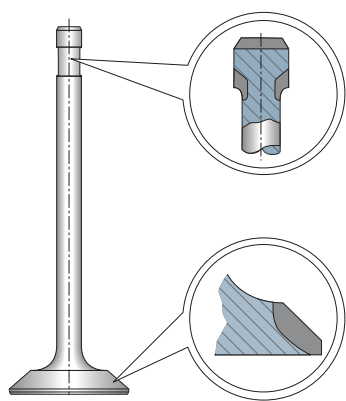
↑ **Figura 8.20.** Culata con válvulas en doble línea.

4.1. Condiciones de funcionamiento de las válvulas

La cabeza de las válvulas se sitúa dentro de la cámara de combustión, por lo que está sometida a sollicitaciones muy altas tanto térmicas como mecánicas.

Sollicitaciones térmicas

La válvula de admisión es refrigerada por el paso de gases frescos de la admisión, pero puede llegar a superar los 400 °C.



↑ **Figura 8.21.** Zonas de endurecimiento de la válvula.

La válvula de escape queda expuesta al paso de los gases calientes de la combustión y puede alcanzar temperaturas de hasta 800 °C, que debe soportar sin sufrir modificaciones en su estructura. El problema más importante que se presenta en las válvulas de escape es su refrigeración.

El calor es evacuado en su mayor parte a través del asiento en la culata y, entre un 25 % y un 30 %, lo hace por el vástago a través de la guía. Puesto que sobre las dimensiones del asiento no es aconsejable actuar para no modificar las condiciones de cierre de la válvula, se mejora la transmisión de calor al sistema de refrigeración calculando convenientemente las dimensiones de la guía de válvula de forma que las superficies en contacto aseguren que se evacúa una cantidad suficiente de calor.

Frecuentemente, la guía de escape tiene una longitud mayor que la de admisión.

Solicitaciones mecánicas

La cabeza de las válvulas, además de soportar elevadas temperaturas, está expuesta a la corrosión producida por los efectos químicos de la combustión. Las zonas de asiento se someten a un continuo golpeteo cuando cierran bruscamente por la fuerza del muelle a elevadas revoluciones.

El desgaste continuado de estas partes provoca fugas en la compresión que disminuyen el rendimiento del motor.

El vástago, en su desplazamiento sobre la guía, está sometido a un continuo desgaste que da lugar a holguras que permiten el paso de aceite de engrase al interior del cilindro.

Por tanto, en la fabricación de las válvulas han de tenerse en cuenta sus condiciones de funcionamiento.

4.2. Fabricación de las válvulas

Las válvulas se fabrican a partir de una pieza en bruto que se moldea por recalado. Este método consiste en calentar la zona a trabajar a una determinada temperatura para después darle forma por presión, sin arranque de viruta. Así se consigue que la estructura de la pieza original conserve sus cualidades.

Debido a que las válvulas de admisión y escape trabajan en condiciones diferentes, para su fabricación se emplean materiales distintos.

Válvulas de admisión

Se fabrican en acero al cromo-silicio y, en ciertas zonas de la válvula sometidas a mayor desgaste como el asiento cónico y la parte plana superior del vástago, también se puede aplicar un tratamiento de templado para aumentar su resistencia (figura 8.21).

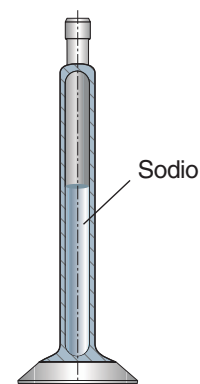
Válvulas de escape

Este tipo de válvulas han de fabricarse con materiales que mantengan sus propiedades mecánicas a altas temperaturas, que sean resistentes al desgaste y posean buena conductividad térmica. Se emplean aceros a los que se les añade cromo (Cr), silicio (Si), níquel (Ni) y wolframio (W).

En motores de alto rendimiento se montan para el escape válvulas refrigeradas con sodio. Este metal tiene un bajo punto de fusión (97 °C) y es muy buen conductor del calor.

Las **válvulas refrigeradas con sodio** (figura 8.22) se construyen con el vástago hueco y se rellenan, hasta algo más de la mitad, con sodio. Al calentarse se funde y pasa a estado líquido; con el movimiento alternativo, el sodio se desplaza dentro de la válvula transmitiendo el calor de la cabeza hacia el vástago. Se consigue así rebajar en más de 100 °C la temperatura de la cabeza de las válvulas de escape.

Cuando se desechan estas válvulas deben de ser tratadas como residuos especiales. El sodio produce una fuerte reacción en contacto con el agua e, incluso, con el oxígeno del aire, por lo que sólo deben ser abiertas por personal experto.



↑ **Figura 8.22.** Válvula de escape refrigerada con sodio.

4.3. Dimensiones de las válvulas

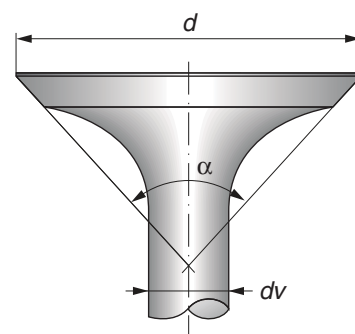
La válvula de admisión debe dejar entrar la máxima cantidad de masa gaseosa en el cilindro, y la válvula de escape debe permitir un vaciado completo de los gases quemados.

La válvula de escape es generalmente de menor diámetro que la de admisión, debido a que al final del tiempo de expansión, cuando la válvula se abre, existe una presión considerable (de 3 a 4 bar) dentro del cilindro que facilita el rápido vaciado de los gases quemados.

El diámetro de la válvula de admisión es entre un 20 y un 30 % mayor que el diámetro de la válvula de escape. Por tanto, se da preferencia a las dimensiones de la cabeza de la válvula de admisión ya que de ello depende en gran parte el llenado del cilindro y, por consiguiente, el rendimiento volumétrico.

Las medidas más importantes que afectan a las válvulas (figura 8.23) son:

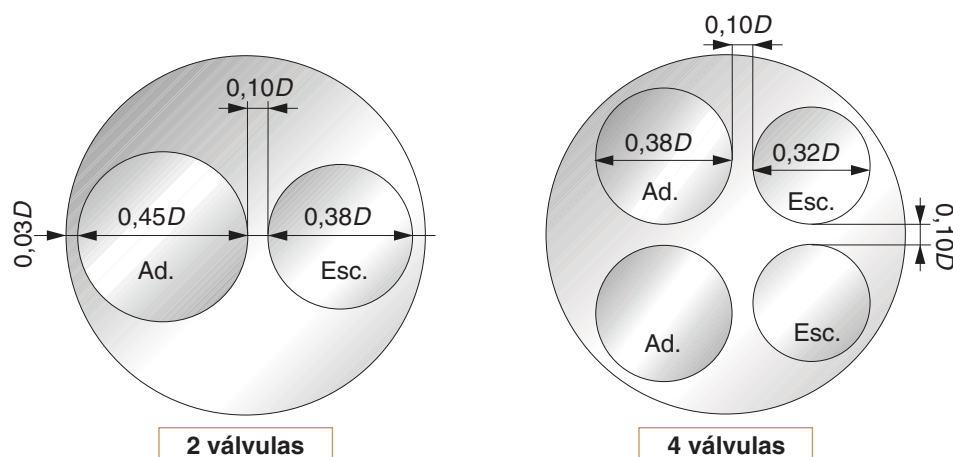
- El diámetro de la cabeza de la válvula.
- La alzada o el desplazamiento longitudinal de la válvula.
- El ángulo de asiento.
- El diámetro del vástago.



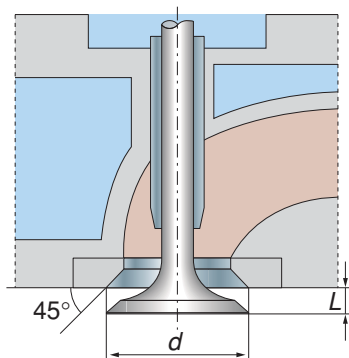
↑ **Figura 8.23.** Medidas de las válvulas.

Diámetro de la cabeza

Se calcula en función del diámetro del cilindro, teniendo en cuenta el espacio disponible según la forma de la cámara de combustión (figura 8.24).



↑ **Figura 8.24.** Dimensiones de la cabeza de las válvulas.



↑ **Figura 8.25.** Desplazamiento de apertura de la válvula.

Es necesario dejar la suficiente separación entre los conductos de admisión y escape para soportar las tensiones térmicas que se producen en esta zona, y a la vez, evitar interferencias en el flujo de entrada y salida de gases.

En los motores equipados con **dos válvulas por cilindro**, el diámetro de la válvula de admisión (d_a) toma unos valores entre **0,40** y **0,48** veces el diámetro del cilindro (D).

En motores multiválvulas puede apreciarse cómo se aprovecha mejor el espacio disponible y, en conjunto, se aumenta el diámetro para las válvulas y, por tanto, la sección de paso del gas. En admisión (d_a) puede llegar hasta $0,80 \cdot D$.

Alzado de válvula

El desplazamiento de apertura de la válvula (L) (figura 8.25), también llamado alzado, se determina en función del diámetro de la cabeza (d). Ambas medidas dan lugar a la sección de paso, que es el área que queda descubierta entre la válvula y su asiento.

Por tanto, el alzado de la válvula es proporcional al diámetro de su cabeza.

Se ha comprobado que la relación L/d más favorable se obtiene con valores entre **0,25** y **0,30**.

Sección de paso de los gases

La sección por donde han de pasar los gases tiene que ofrecer la menor resistencia posible con el fin de mejorar la carga del cilindro.

Para una válvula de admisión el valor del área de esta sección, es de gran importancia ya que determina la cantidad de masa gaseosa que puede ser admitida.

La sección de admisión está en función del perímetro de la cabeza de la válvula y su desplazamiento de apertura.

ACTIVIDADES RESUELTAS

Se pretende fabricar un motor cuyos cilindros tendrán un diámetro (D) de 82 mm. Calcula los valores más favorables para el diámetro de la cabeza de la válvula de admisión (d_a), su desplazamiento de apertura (L).

Solución:

Diámetro de la cabeza de la válvula de admisión d_a :

$$d_a = 0,40 \cdot D = 0,40 \cdot 82 = 32,8 \text{ mm}$$

$$d_a = 0,48 \cdot D = 0,48 \cdot 82 = 39,3 \text{ mm}$$

Puede emplearse el valor más adecuado dependiendo de las características de la cámara de combustión. Suponiendo que se elija una válvula de 36 mm de diámetro, su desplazamiento de apertura más conveniente al aplicar los valores L/d_a sería:

Desplazamiento de apertura L :

$$L = d_a \cdot 0,25 = 36 \cdot 0,25 = 9 \text{ mm}$$

$$L = d_a \cdot 0,30 = 36 \cdot 0,30 = 10,8 \text{ mm}$$

Ángulo de asiento

Este ángulo es el formado por las generatrices del cono del asiento. Se usan habitualmente ángulos de 90° o de 120° (figura 8.26).

El ángulo de 90° es el más utilizado, debido a que ofrece una buena resistencia mecánica y soporta bien las altas temperaturas. Se obtiene un buen cierre, aunque opone mayor resistencia al paso de los gases.

Las válvulas con 120° de asiento favorecen la entrada de gases. Por este motivo, son usadas en algunos motores como válvula de admisión, utilizando en la de escape un ángulo de asiento de 90° que es más resistente.

La superficie anular del asiento influye sobre la efectividad del cierre, ya que la presión ejercida sobre la válvula actúa en proporción inversa a la superficie sobre la que se aplica. Por consiguiente, a medida que se reduce la superficie del asiento, la presión se incrementa.

En las válvulas de escape esta superficie suele ser algo mayor para facilitar la evacuación de calor.

La presión existente dentro del cilindro es aplicada también sobre la cabeza de las válvulas y se transmite al asiento. Esta carga puede suponer hasta 10 veces la presión del gas.

Diámetro del vástago

Se calcula en función del diámetro de la cabeza de la válvula y se adecua a las condiciones de trabajo como la temperatura, la velocidad lineal o la lubricación.

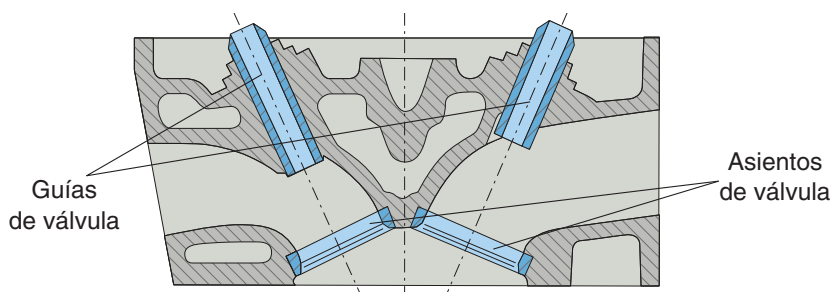
4.4. Guías de válvulas

La guía es la pieza sobre la que se desliza el vástago en su desplazamiento y centra la válvula en su asiento (figura 8.27). Generalmente es una pieza postiza insertada a presión en su alojamiento. En algunas culatas de fundición, la guía se mecaniza directamente sobre su propio material.

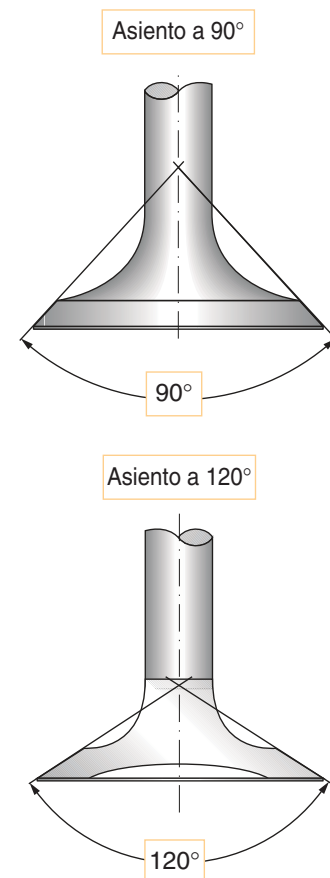
Se fabrica en fundición de hierro con aleaciones especiales. Presenta gran resistencia al desgaste por fricción y buena conductividad térmica, ya que la guía es la encargada de transmitir una buena parte del calor de la válvula al circuito de refrigeración.

El juego entre el vástago de la válvula y la guía ha de calcularse para que permita la dilatación del vástago, por lo que la holgura suele ser mayor para la válvula de escape. Por otra parte, debe evitarse el excesivo paso de aceite que terminaría quemándose en el cilindro y formando depósitos de carbonilla.

El paso de aceite es más importante a través de las guías de admisión, debido a la depresión que existe cuando esta válvula está abierta. El consumo de aceite se reduce colocando retenes en la parte superior de las guías (figura 8.18).



↑ Figura 8.27. Guías y asientos de válvulas.



↑ Figura 8.26. Ángulo de asiento de la válvula.

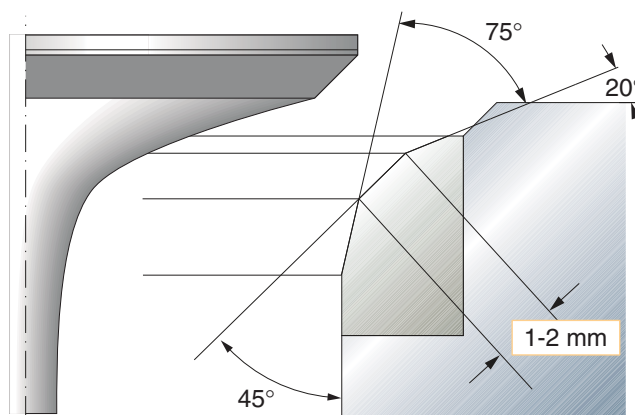
4.5. Asientos de válvulas

El asiento constituye el elemento sobre el que se apoya la cabeza de la válvula para hacer el cierre (figura 8.27). Debido a las duras condiciones en las que trabaja, en culatas de aluminio y en muchas de fundición, constituye una pieza postiza.

Se fabrica en acero al cromo-manganeso o en aleación de metal duro, muy resistente al choque y soporta altas temperaturas.

El asiento se monta con interferencia mediante un procedimiento consistente en calentar el alojamiento sobre la culata para dilatarlo y, por otra parte, enfriar el asiento para contraerlo. Una vez insertado, ambas piezas igualan sus temperaturas para quedar perfectamente ajustadas.

Generalmente el ángulo de asiento es el mismo que el de la válvula, y puede ser de 45° o de 60° . Se mecanizan además dos ángulos correctores (figura 8.28), uno de entrada de entre 20° y 30° , y otro de salida de 60° a 75° , que limitan el ancho del asiento entre 1 y 2 mm a la vez que suavizan el perfil del conducto de paso del gas.



↑ Figura 8.28. Ángulos en el asiento.

4.6. Muelles de válvulas

El muelle proporciona la fuerza necesaria para mantener cerrada la válvula. Se monta con una tensión previa que se transmite a la válvula a través del platillo de retención y los semiconos (figura 8.29).

La fuerza del muelle ha de ser la suficiente para mantener una presión que garantice un cierre estanco, sin que llegue a ser excesivamente fuerte, pues aumentaría el desgaste del asiento.

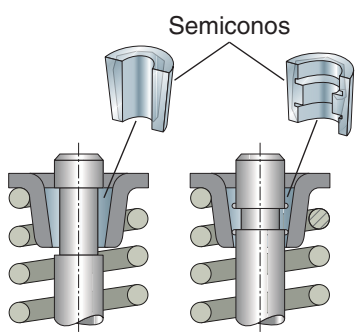
Los muelles se fabrican en acero al carbono con un alto contenido de silicio. Este acero es muy elástico y resistente a la fatiga.

La elasticidad adecuada se determina según el tipo de acero que se emplee y las medidas del diámetro del alambre, así como del diámetro del muelle y el número de espiras.

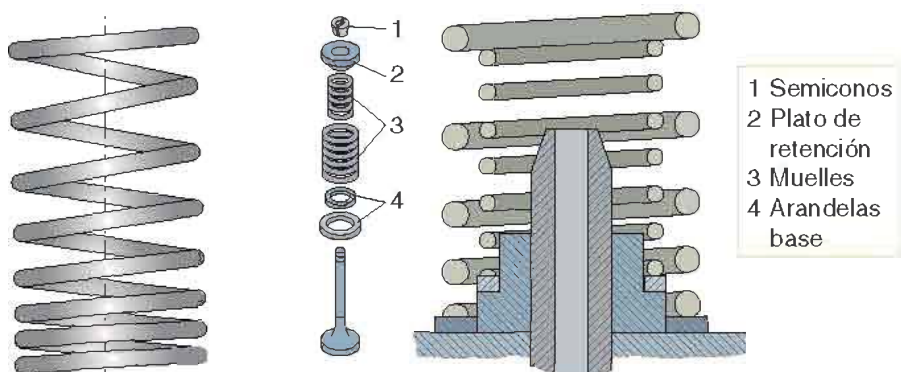
Efectos que se producen en los muelles

En ocasiones los muelles plantean problemas debidos a los efectos de inercia y a las vibraciones.

Los efectos de inercia aparecen cuando los muelles trabajan con altas frecuencias de compresión y extensión. Para reducir estos efectos se montan muelles asimétricos (figura 8.30) cuyo paso entre espiras no es uniforme.



↑ Figura 8.29. Fijación en el muelle de válvula.



↑ Figura 8.30. Muelle asimétrico. ↑ Figura 8.31. Válvula con doble muelle.

A determinado número de revoluciones pueden aparecer vibraciones cuya frecuencia provoca efectos de resonancia que afectan al correcto funcionamiento de las válvulas.

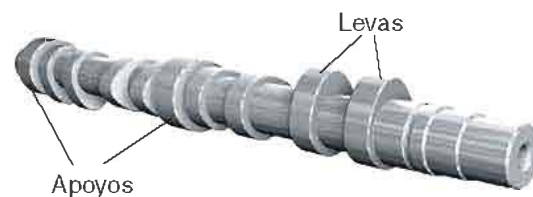
En algunos casos se usan dos muelles concéntricos de distintas características que se montan con las espiras de ambos dispuestas en sentidos contrarios (figura 8.31), de tal forma que las oscilaciones que se producen en cada uno no llegan a entrar en resonancia.

5. Árbol de levas

El árbol de levas es el elemento que gobierna el sistema de distribución y establece los ángulos de apertura y cierre de las válvulas. Recibe el giro del cigüeñal, que es transformado en movimiento rectilíneo alternativo mediante las levas. Este movimiento se transmite a las válvulas para efectuar su apertura venciendo la fuerza de los muelles.

5.1. Constitución

El árbol de levas está compuesto (figura 8.32) por tantas levas como válvulas tiene el motor, dispuestas de tal forma que realicen el movimiento de las válvulas según el diagrama de distribución. A lo largo del árbol se disponen los apoyos sobre los que gira, cuyo número varía en función del esfuerzo a transmitir. Cuando va instalado sobre culata de aluminio, el número de apoyos suele ser igual al de cilindros mas uno.

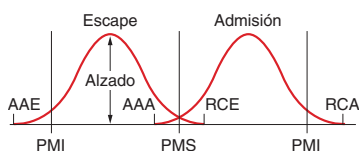


↑ Figura 8.32. Constitución del árbol de levas.

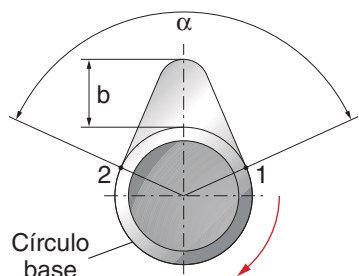
Se fabrica de hierro fundido o de acero forjado. La fundición se realiza en coquilla o molde de gran precisión. Debe poseer gran resistencia a la torsión y al desgaste, por lo que se temple superficialmente para aumentar la resistencia, pues el desgaste de las levas supondría modificar el diagrama de distribución y, por tanto, disminuir el rendimiento del motor.

Posición sobre el motor

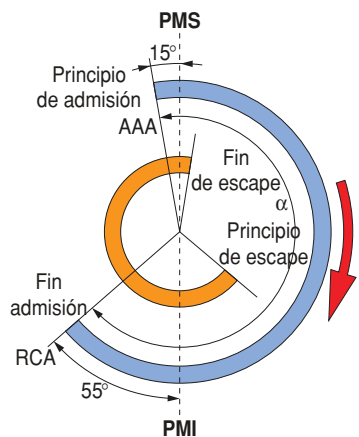
El árbol de levas puede ir montado sobre el bloque (figura 8.2), aunque esta disposición se está abandonando y prácticamente todos los motores actuales lo montan en la culata (figura 8.14).



↑ **Figura 8.33.** Movimiento de las válvulas.



↑ **Figura 8.34.** Puntos de apertura y cierre de la leva.



↑ **Figura 8.35.** Diagrama de distribución.

El árbol de levas gira apoyado sobre cojinetes de fricción o bien sobre taladros de apoyo practicados directamente sobre el material de la culata. Están lubricados por el circuito de engrase a través de los conductos por los que pasa el aceite a presión a cada uno de los apoyos. Para facilitar su desmontaje los cojinetes se dividen en dos mitades, la parte superior o sombrerete se sujeta mediante tornillos.

5.2. Geometría de levas

La posición de las levas sobre el árbol, sus dimensiones y la forma de su perfil determinan sus principales características:

- El momento de apertura de las válvulas.
- El ángulo en que permanecen abiertas.
- El desplazamiento o alzada.
- El modo en que se desarrollan los movimientos.

Como puede verse en la figura (figura 8.34), existe un tramo denominado círculo base, que corresponde a la válvula cerrada. A partir del punto (1) comienza la apertura, la válvula permanece abierta hasta el punto (2). En este recorrido angular (α), la leva desplaza una distancia (b) al elemento de empuje.

El movimiento de las válvulas se representa en la figura 8.33.

El punto (1) corresponde al avance de la apertura y el punto (2) al retraso del cierre de la válvula respecto a los puntos muertos superior e inferior, cuyo valor en grados de giro del cigüeñal viene determinado por el diagrama de la distribución (figura 8.35).

Por ejemplo, para una válvula de admisión cuyas cotas son $AAA = 15^\circ$ y $RCA = 55^\circ$, el ángulo, que la válvula permanece abierta sería:

$$\alpha = 15^\circ + 180^\circ + 55^\circ = 250^\circ \text{ de giro de cigüeñal}$$

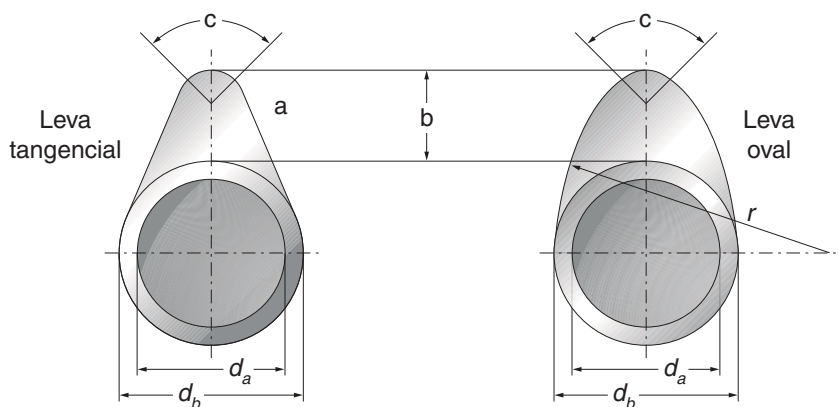
$250^\circ/2 = 125^\circ$ de giro del árbol de levas, ya que la relación de giro es de $1/2$.

Formas del perfil de la leva

Las formas de los flancos de la leva determinan la velocidad de la rampa y, por tanto, el modo en que se desarrollan los movimientos de las válvulas y los esfuerzos a que son sometidos los componentes del sistema.

Hay una gran variedad en el diseño de estos perfiles, pero pueden englobarse en dos tipos básicos (figura 8.36):

- Perfil de leva oval.
- Perfil de leva tangencial.

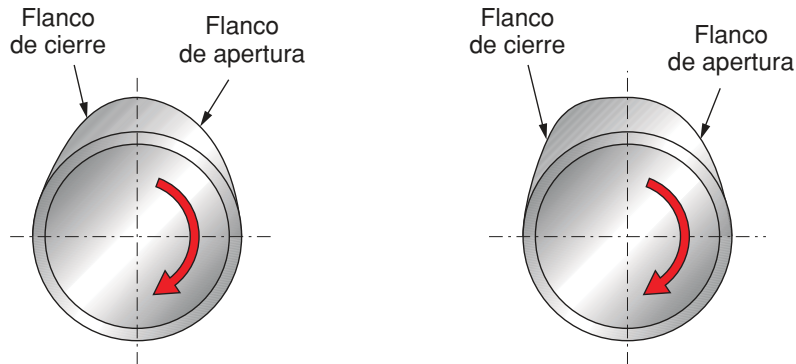


→ **Figura 8.36.** Perfiles de la leva.

Con la **leva oval** la velocidad de rampa es baja, los movimientos de apertura y cierre son lentos y el tiempo que la válvula permanece totalmente abierta es muy corto.

La **leva tangencial** provoca rápidos movimientos de la válvula, lo que permite que permanezca totalmente abierta más tiempo y mejore el intercambio de gases. Por el contrario, aumentan las aceleraciones y los efectos de inercia son mayores, por lo que aumenta el desgaste de la leva.

Existen levas con los flancos asimétricos (figura 8.37), cuyo perfil de entrada es oval para abrir lentamente y el perfil de cierre es tangencial, con lo que se consigue mayor tiempo con la válvula totalmente abierta y un cierre rápido.



↑ **Figura 8.37.** Levas con perfil asimétrico.

6. Elementos intermedios

Los elementos intermedios son las piezas que se interponen entre las levas y las válvulas, y que varían dependiendo del sistema de distribución utilizado. Estos elementos pueden ser:

- Elementos de empuje: taqués y varillas empujadoras.
- Elementos basculantes: balancines y palancas basculantes.

6.1. Elementos de empuje

Taqués

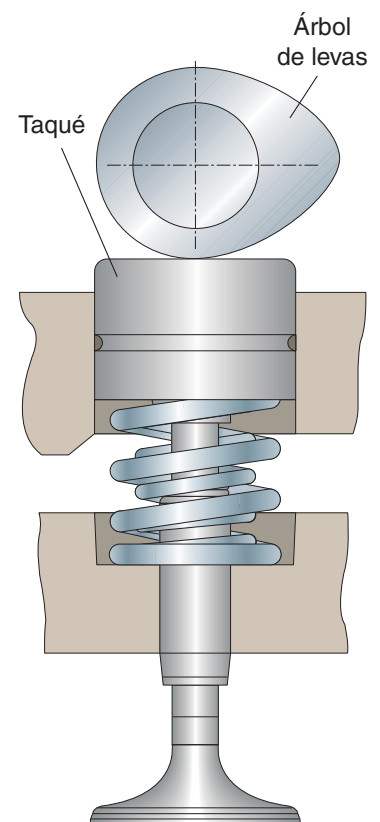
Los taqués o empujadores son accionados directamente por las levas. Su misión es aumentar la superficie de contacto entre las dos piezas de forma que se reduzca el desgaste y se puedan repartir mejor los esfuerzos laterales.

En la distribución OHV (figura 8.2), el taqué actúa sobre la varilla empujadora, cuyo extremo se introduce en su interior.

En la distribución OHC el taqué empuja directamente sobre la válvula (figura 8.38) el taqué se desliza en su alojamiento practicado en la culata. El vástago de la válvula se apoya interiormente en la parte central del taqué.

En algunos casos, el taqué se monta descentrado respecto a la leva, así cada vez que esta lo empuja le imprime un pequeño giro que hace que varíen las zonas en contacto con el fin de evitar el desgaste en un mismo punto.

Los taqués se fabrican en fundición dura. La superficie de deslizamiento con la leva recibe un tratamiento externo de templado para aumentar su resistencia al desgaste. Las superficies laterales quedan perfectamente pulimentadas para reducir la fricción en su desplazamiento.



↑ **Figura 8.38.** Empujador de ataque directo sobre la válvula.

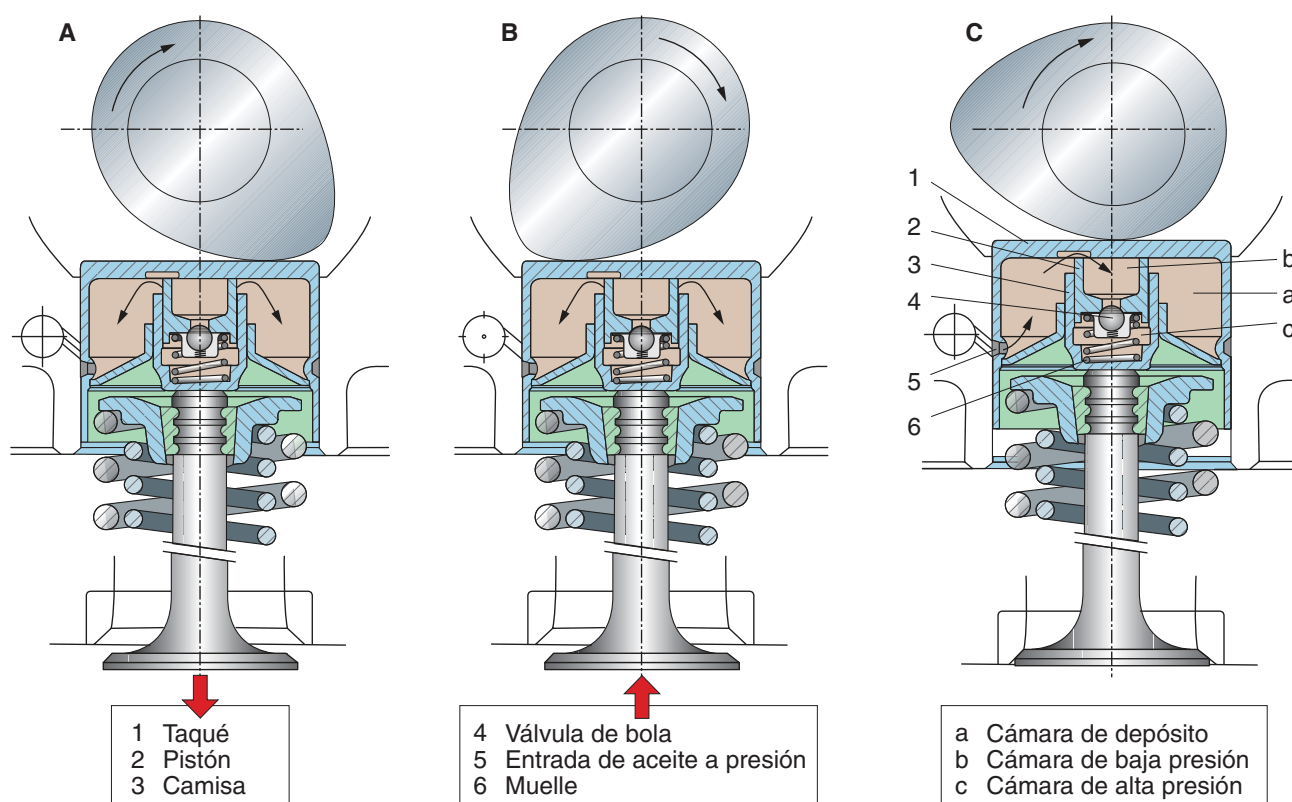
Taqués hidráulicos

Los taqués hidráulicos compensan automáticamente las dilataciones en el sistema de distribución, por lo que no es necesario el juego de válvulas, quedando el sistema exento de mantenimiento.

• Constitución:

Consiste en un sencillo dispositivo hidráulico (figura 8.39) compuesto esencialmente por dos piezas móviles: el taqué (1) en contacto con el pistón (2), y la camisa (3) que se apoya en el vástago de la válvula. El muelle (6) separa ambas piezas anulando cualquier holgura. La válvula de bola (4) controla el llenado y cierre de la cámara de alta presión (c).

El aceite procedente del circuito de engrase llega a presión por el conducto de entrada (5), y llena las cámaras (a, b y c). También lubrica el taqué en su desplazamiento a través de la ranura anular practicada en su periferia.



↑ **Figura 8.39.** A, B, C. Funcionamiento del taqué hidráulico.

• Funcionamiento:

En la fase A, la leva comienza a desplazar el taqué. Este empuje hace que la bola de la válvula antirretorno (4) se pegue contra su asiento, y cierre la cámara de alta presión (c). El aceite que queda encerrado dentro hace una unión prácticamente rígida, transmitiendo la fuerza al vástago de la válvula que comienza a abrirse.

En la fase B, la leva sigue girando y desplaza la válvula hasta su abertura total. La compresión del muelle ejerce una fuerte presión sobre la camisa (3), lo que comporta un aumento de presión en la cámara. Una pequeña cantidad de aceite se escapa por la holgura entre la camisa y el pistón, lo que provoca un ligero desplazamiento de la camisa en una medida que, como máximo, suele ser de 0,2 mm.

La dilatación térmica de las piezas de la distribución es compensada por este desplazamiento.

En la fase C, la leva deja de ejercer presión sobre el taqué, por lo que también disminuye la presión dentro de la cámara de alta presión (c).

La ranura anular vuelve a coincidir con el conducto de entrada (5) y la presión del aceite de engrase es suficiente para abrir la válvula antirretorno (4), que deja entrar cierta cantidad de aceite a la cámara de alta presión. Esta cantidad depende del juego a recuperar.

Los taqués hidráulicos tienen el inconveniente de su elevado peso, que provoca fuerzas de inercia a altas revoluciones. Por este motivo, en algunos motores se usan los denominados compensadores de juego (figura 8.40).

La estructura y el funcionamiento del compensador de juego es igual al del taqué hidráulico, con la ventaja de que no está sometido a ningún movimiento y, por tanto, no presenta problemas de inercia.

El compensador de juego va fijado en la culata, la leva ataca sobre el centro de una palanca basculante que en uno de sus extremos apoya sobre la rótula del compensador, y por el otro en la válvula.

Para evitar el vaciado de aceite en los taqués con motor parado, el circuito de lubricación va provisto de una válvula de retención situada en el conducto que lleva el aceite hasta la culata. Cuando el motor se para y cesa la presión la válvula se cierra manteniendo llenos los conductos de aceite.

Varillas empujadoras

Estas varillas se usan cuando el árbol de levas se monta en el bloque. Su misión es transmitir el movimiento desde los taqués a los balancines (figura 8.2).

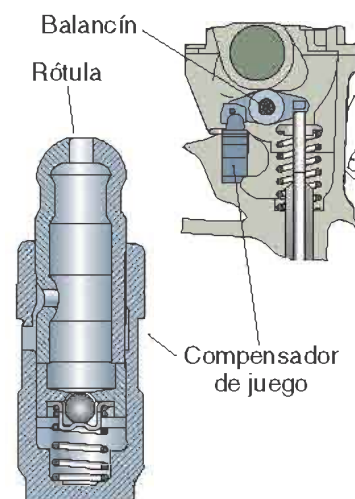
Deben tener la suficiente rigidez para soportar la fuerza del muelle sin que se deformen. Se fabrican en acero al carbono y en sus extremos llevan un acabado esférico que permite una ligera articulación en sus movimientos.

6.2. Elementos basculantes

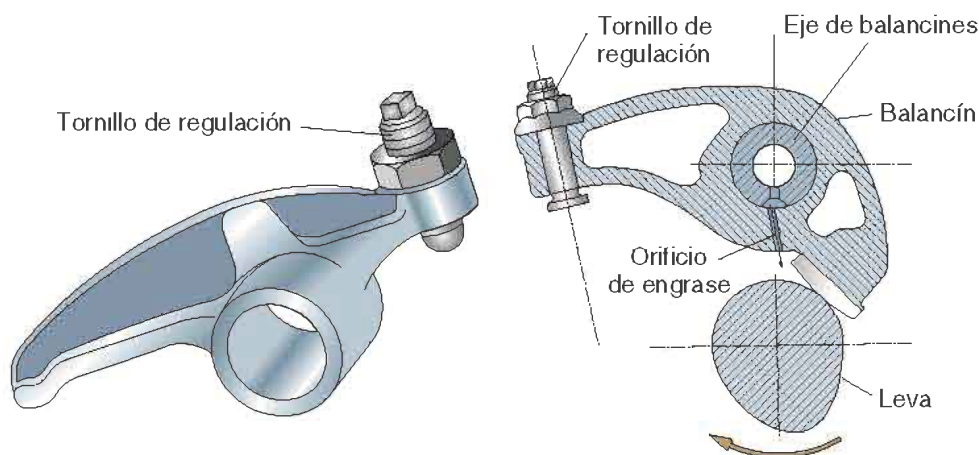
Balancines

Son palancas que se montan por su parte central sobre un eje. Reciben por un extremo el empuje procedente de la leva y es transmitido a la válvula por el otro.

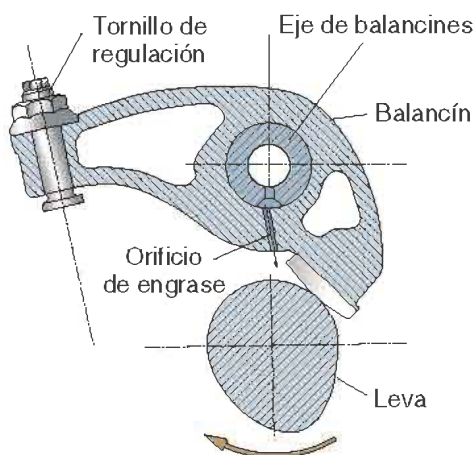
Los balancines son accionados mediante varillas empujadoras en los sistemas OHV, (figura 8.41) o directamente por la leva en sistemas OHC (figura 8.42).



↑ Figura 8.40. Elemento compensador de juego.



↑ Figura 8.41. Balancín para sistema OHV.



↑ Figura 8.42. Balancín para sistema OHC.

En un extremo del balancín se monta el dispositivo para regular el juego de válvulas.

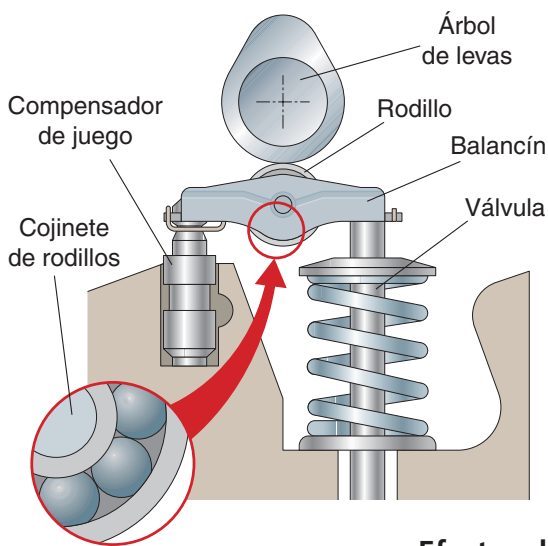
El eje de balancines es hueco y por su interior circula aceite que lubrica los balancines a través de unos orificios practicados para tal fin.

Balancín de rodillo

Este tipo de balancín va provisto de un rodillo que gira sobre un rodamiento de agujas (figura 8.43). La leva actúa sobre el rodillo y el balancín transmite su movimiento a la válvula.

Este sistema tiene la ventaja de que se necesita menor esfuerzo para accionar las válvulas y se reducen los esfuerzos por fricción.

6.3. Dispositivos para la regulación del juego de válvulas



↑ Figura 8.43. Balancín de rodillo.

Los elementos de la distribución presentan variaciones de longitud debido, principalmente, a la dilatación y al desgaste al que están sometidos.

Para asegurar un buen cierre de las válvulas en cualquier estado de funcionamiento se dispone de una holgura llamada **juego de taqués** o **juego de válvulas** (figura 8.2), localizada entre la cola de la válvula y el elemento que la acciona. Su valor está entre 0,1 y 0,4 mm y lo determina el fabricante dependiendo del tipo de motor.

Este juego hay que regularlo periódicamente para mantenerlo dentro de los valores establecidos, excepto si se montan taqués hidráulicos pues, en este caso, la regulación es automática.

Efectos de la dilatación en la distribución

En algunas piezas de la distribución, y especialmente en las válvulas, se produce una dilatación longitudinal cuando el motor alcanza su temperatura de funcionamiento. El juego de válvulas ha de estar calculado para absorber esta dilatación, de lo contrario la válvula no llegaría a cerrar con el motor caliente (válvula pisada).

El coeficiente de dilatación longitudinal (α) se define como el alargamiento que sufre una barra de un metro de longitud por cada grado que aumenta su temperatura.

La dilatación es diferente para cada metal, por ejemplo, para un mismo aumento de temperatura el alargamiento que sufre una barra de aluminio ($\alpha = 0,024$) es aproximadamente el doble que el de una barra de acero ($\alpha = 0,0115$).

Para calcular la dilatación longitudinal se aplica la siguiente fórmula:

$$l_a = \frac{\alpha \cdot t \cdot l_0}{1.000} \quad t = t_2 - t_1$$

l_a = alargamiento

α = coeficiente de dilatación longitudinal

t = aumento de temperatura

t_1 = temperatura inicial

t_2 = temperatura final

l_0 = longitud de la válvula

Consecuencias de un juego de válvulas incorrecto

Si el juego de válvulas es menor, el tiempo que la válvula permanece abierta es mayor, ya que se adelanta su apertura y el cierre se efectúa con retraso. Existe el riesgo de que las válvulas no lleguen a cerrar por la dilatación, en cuyo caso la válvula de escape no evacua calor por su asiento y los gases calientes de la combustión queman la cabeza y el asiento. Las explosiones se propagan por el conducto de admisión provocando llamas. El rendimiento disminuye por pérdidas de compresión.

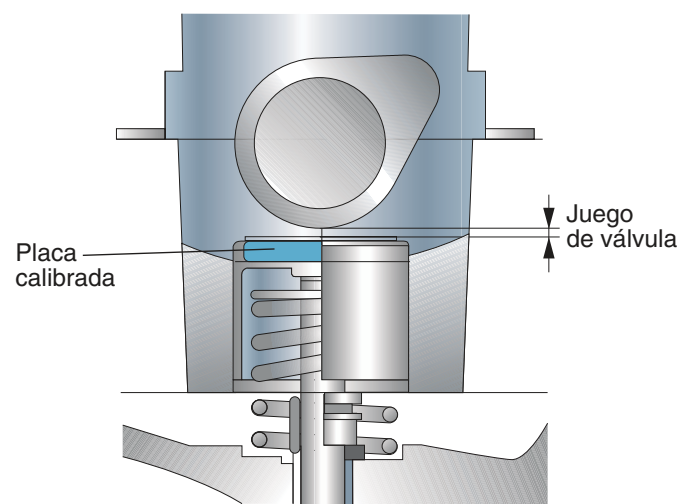
Si el juego de válvulas es mayor, el tiempo que permanecen abiertas disminuye y la alzada es menor, lo que provoca la estrangulación del cambio de gases en el cilindro, empeorando el llenado y, por tanto, el rendimiento del motor. La distribución se vuelve ruidosa y se acelera el desgaste.

Tipos de dispositivos para realizar la regulación

Existen diferentes tipos. El más sencillo y comúnmente utilizado es el de tornillo y tuerca de bloqueo montado sobre el balancín (figuras 8.41 y 8.42).

Otro sistema, que se usa con frecuencia cuando no existen balancines, es el de intercalar entre la leva y el taqué unas placas calibradas (figura 8.44), cuyo espesor ha sido calculado previamente. El fabricante suministra placas de diferentes espesores.

El reglaje de válvulas se trata en el punto 4 de la unidad didáctica 10.



↑ **Figura 8.44.** Ajuste por placa calibrada.

ACTIVIDADES RESUELTAS

La longitud de una válvula de escape a 20 °C es de 120 mm. Calcula el alargamiento que se produce cuando se calienta a 180 °C.

Solución:

La válvula está construida en acero ($\alpha = 0,0115 \text{ mm/m} \cdot ^\circ\text{C}$)

El aumento de temperatura es: $t = 180 - 20 = 160 \text{ }^\circ\text{C}$

$$l_a = \frac{\alpha \cdot t \cdot l_o}{1.000} \qquad l_a = \frac{0,0115 \cdot 160 \cdot 120}{1.000} = 0,22 \text{ mm}$$

Para esta válvula se precisa un juego de, al menos, 0,25 mm.