

## TEMA 4.- DISTRIBUCIÓN

### INTRODUCCIÓN

La distribución se puede definir como el conjunto de elementos necesarios para regular la entrada y salida de gases del cilindro de los motores de cuatro tiempos.

Para ello actúa abriendo y cerrando las válvulas en los tiempos de admisión y escape de forma sincronizada con el giro del cigüeñal.

Los elementos que constituyen la distribución son los siguientes:

- Válvulas
- Levas.
- Empujadores
- Balancines.
- Elementos de regulación.

El esquema básico de la distribución de un motor alternativo es como se presenta en la siguiente figura:

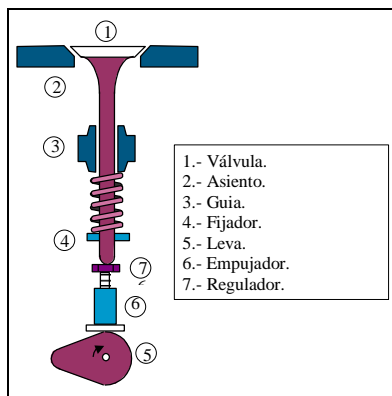


Figura 1.- Esquema básico de la distribución.

La válvula está compuesta de *cabeza*, que sirve para cerrar el orificio de paso de los gases, y *vástago o cola*, que sirve para guiar el movimiento y para transmitir a la cabeza el empuje de la leva y la fuerza del muelle.

La estanqueidad se realiza, por regla general, por medio de una superficie tronco-cónica tallada en la periferia de la cabeza, esta superficie se apoya sobre un asiento que lleva tallado un contracono que asegura la hermeticidad. La válvula se abre desplazándose hacia el interior de la cámara de combustión, lo que favorece la estanqueidad ya

que la presión de los gases se opone a su apertura.

El desplazamiento que realiza la válvula desde su posición de cierre hasta la de máxima apertura se denomina *alzada*, la cual se logra gracias a la *leva o camión*, que accionada por su eje, el cual recibe el movimiento desde el cigüeñal transmite el movimiento alterno a la válvula casi siempre por medio un *empujador*.

La disposición de las válvulas varía de unos motores a otros, y aunque la disposición más normal es la de válvulas en la culata, es posible encontrar válvulas dispuestas en el lateral del cilindro, si bien esta disposición de válvulas sólo se adopta en motores que tienen baja relación de compresión.

Las válvulas en culata permiten una forma más reducida y mayores relaciones de compresión.

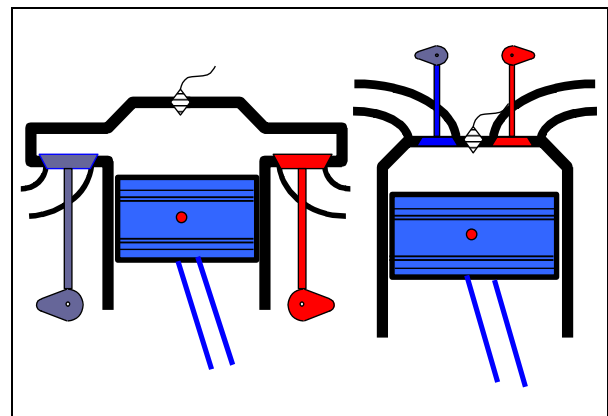


Figura 2.- Disposición de las válvulas laterales y en culata.

El funcionamiento de las válvulas ha de ser tal que permitan el máximo llenado del cilindro y la menor resistencia posible a la salida de los gases quemados. Para ello tienen que moverse de forma que la apertura y cierre se den en el instante más adecuado, con la máxima rapidez posible y con la máxima sección de paso durante la mayor parte del tiempo de aspiración y de escape.

Los *sistemas de accionamiento* de las válvulas varían según su posición en el motor y según los elementos que sirven de enlace con las levas. Los más empleados en la actualidad se representan por siglas que frecuentemente es posible ver en la tapa del motor:

- Sistema **SV**.
- Sistema **OHV**.
- Sistema **OHC**.

• El sistema **SV** o de *válvulas laterales* es el tipo de distribución que tiene levas y válvulas situadas al lado del cilindro.

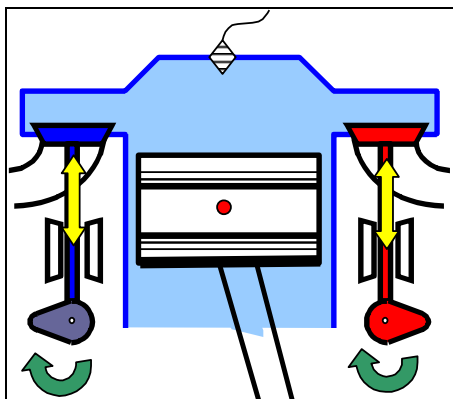


Figura 3.- Sistema de distribución SV.

Este sistema, aunque es muy sencillo, ya que emplea pocos elementos para el accionamiento de las válvulas y reduce al máximo los efectos de la inercia producidos por el movimiento alternativo de los empujadores, se emplea poco en la actualidad, debido al excesivo volumen que requiere en la cámara de combustión, lo que origina bajas relaciones de compresión y, por tanto, poco rendimiento térmico.

Entre la leva y la cola de válvula se coloca un empujador o taqué provisto de un tornillo regulador que permite modificar la holgura entre el vástago de válvula y el empujador. A veces el empujador tiene intercalado un rodillo giratorio con el que se consigue un funcionamiento más suave y, sobre todo, un menor desgaste.

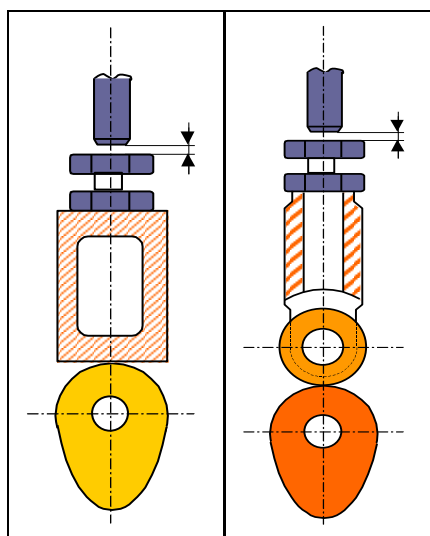


Figura 4.- Mecanismo de empuje del sistema SV

• El sistema **OHV** o de *levas en bloque y válvulas en culata* es el sistema más generalizado debido a su sencillez constructiva y a sus interesantes características de funcionamiento.

Como *elementos de enlace* entre las levas y las válvulas emplean un sistema de *empujadores y balancines*, como se muestran en la siguiente figura.

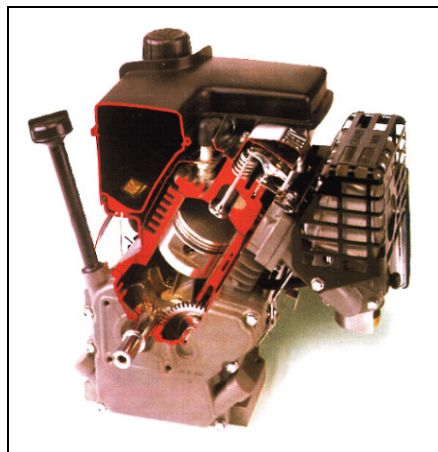


Figura 5.- Sistema de distribución OHV

El empujador o taqué en contacto con la leva, es de forma de cilindro hueco dentro del cual se coloca una varilla metálica que sirve de enlace con el balancín, el cual, como una palanca de primer genero, tiene dos brazos uno de los cuales recibe el empuje de la varilla y va provisto de un dispositivo de regulación de la holgura que consiste en un tornillo roscado sobre el balancín con una tuerca de fijación

• El sistema **OHC** o de *levas y válvulas en culata* es el medio más directo de transmitir el movimiento a las válvulas. Pero, aunque evita los efectos de inercia y de holgura, resulta más complejo ya que la colocación de los árboles sobre la culata requiere soportes especiales que dan al motor mayor altura y exigen en su fabricación elementos específicos para accionar la *bomba de combustible*, la *bomba de aceite* y el *distribuidor del encendido*, los cuales, en los sistemas anteriormente descritos, toman el movimiento desde el mismo eje que acciona las levas conocido como árbol de levas.

A pesar de sus inconvenientes, este tipo de distribución reduce al máximo los efectos de inercia en la transmisión, lo que lo hace particularmente apto para motores muy revolucionados.

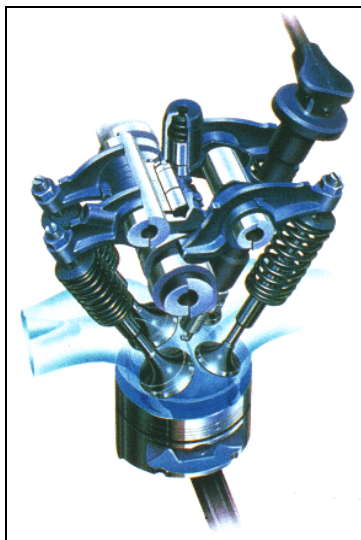


Figura 6.- Sistema OHC.

El accionamiento de las válvulas puede ser por *mando directo* o por medio de *semibalancines*, según se presenta en la siguiente figura:

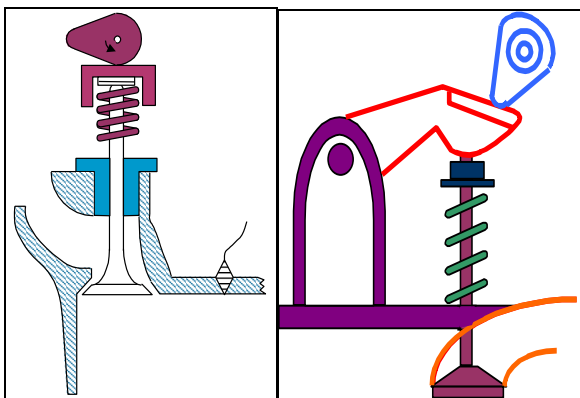


Figura 7.- Sistema OHC con mando directo y por semibalancines.

El reglaje de taqués u holgura entre el balancín y la válvula se consigue colocando finas láminas de acero hasta conseguir la holgura deseada.

En lo que sigue se va a proceder a un estudio detallado de los elementos constituyentes de la distribución.

## VÁLVULAS.

Las válvulas que, como ya ha sido expuesto, tienen la misión de abrir y cerrar los orificios de entrada y salida de gases en cada ciclo, tienen el borde de la *cabeza* tallado en toda su periferia en forma de cono con una inclinación de 45°, para que, al asentar en el correspondiente contracono de la culata se consiga un cierre hermético.

La *cabeza* lleva un *vástago* o *cola* perfectamente cilíndrica, gracias al cual toda la pieza se refrigera y se desplaza alternativamente

dentro las *guías*. En su extremo lleva un *rebaje* para soportar el sistema de cierre de la válvula sobre la culata.

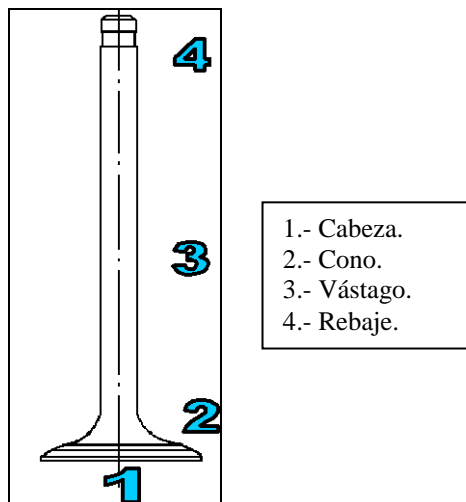


Figura 8.- Válvula.

Para su fabricación se emplean aceros capaces de soportar las cargas sin deformarse y de resistir los efectos de corrosión que producen las altas temperaturas y los productos de la combustión.

Las válvulas que, sobre todo la de escape, llegan a estar sometidas a temperaturas que superan los 800 °C, deben estar diseñadas de manera que, además de ser ligeras, tengan dimensiones adecuadas para permitir el llenado y vaciado del cilindro con facilidad y para conseguir su refrigeración, ya que el diámetro de la cabeza influye directamente sobre la cantidad de energía absorbida durante el trabajo, de manera que a mayor diámetro, el calor que incide sobre la válvula es mayor. Debido a esto, las válvulas de escape se construyen de menor diámetro que las de admisión, ya que estas son refrigeradas por los gases frescos que entran durante la admisión.

La evacuación del calor que reciben las válvulas se hace desde el vástago a la guía y de esta al circuito de refrigeración.

Las válvulas se fabrican partiendo de varilla cilíndrica y la cabeza se conforma por extrusión del material en caliente. El calentamiento de la varilla hasta la temperatura adecuada se consigue por inducción eléctrica.

Para las válvulas de escape se emplean aceros al cromo – níquel y al tungsteno –silicio, que son aleaciones que además de ser muy resistentes al calor y a la corrosión, tienen una elevada resistencia. Para evitar el desgaste el vástago se somete a un tratamiento de nitruración.

En las válvulas de admisión, se emplean aceros de menor calidad debido a las condiciones de trabajo menos rigurosas. Generalmente se trata de *aceros al carbono*, con pequeñas proporciones de *romo*, *silicio* y *níquel*.

La cabeza de la válvula cuyo diámetro queda limitado por el tamaño de la cámara de combustión, debe tener las máximas dimensiones posibles. Como esto conlleva problemas de sobrecalentamiento, hoy se utiliza la técnica denominada multiválvulas o de montaje de varias válvulas por cilindro, con lo que se aumenta el rendimiento volumétrico y se consigue una mejor refrigeración.

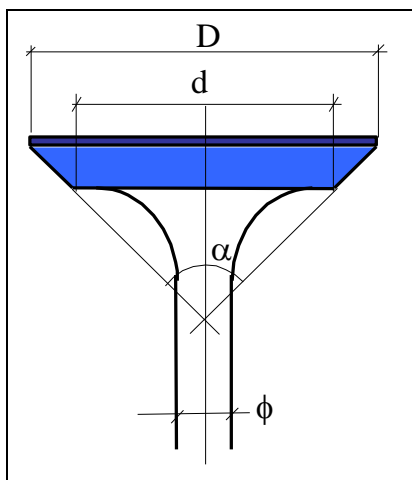


Figura 9.- Dimensiones de la válvula.

La práctica enseña que la velocidad de entrada de gases frescos no debe superar los 80 m/s, y la de salida de los gases de escape no debe ser mayor de 100 m/s.

Las dimensiones del vástago de las válvulas para no sobrepasar los límites tolerables por los materiales usados debe ser de:

$$\phi = \frac{d}{4}$$

El ángulo de asiento  $\alpha$  más generalizado es el de  $45^\circ$  porque, si bien en algunos motores se usan  $30^\circ$  en las válvulas de admisión con lo que se consigue un mejor llenado de los cilindros.

La apertura de la válvula, cuyo valor depende de la excentricidad de la leva y de la forma de los balancines, guarda relación con las dimensiones de la cabeza, y se determina mediante la fórmula:

$$h = \frac{d}{4}$$

Los tipos de válvulas más usadas son los siguientes:

- *Válvulas de cabeza esférica*, las cuales tienen la cabeza con forma abombada. Por su robustez son las más empleadas.
- *Válvula de cabeza plana*, las cuales, aunque menos robustas que las anteriores, reducen los efectos de inercia, y se emplean en motores ligeros de pequeña y media cilindrada.

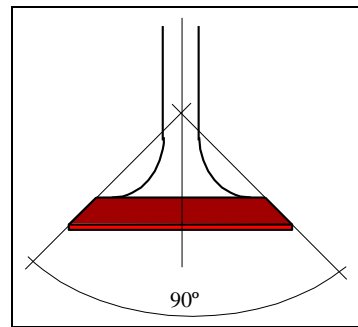


Figura 10.- Válvula de cabeza plana.

- *Válvulas de tulipa*, las cuales tienen un ángulo de cono de  $120^\circ$ , lo que facilita la entrada y la evacuación de gases, se utilizan en motores diseñados para altas prestaciones.

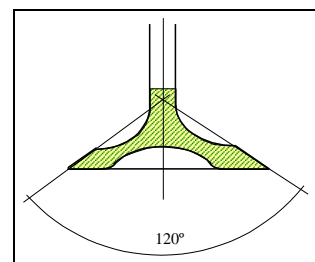


Figura 11.- Válvula de tulipa.

- En algunos casos es posible encontrar motores que llevan válvulas especiales como son las válvulas con deflector, que se empleaban en los motores Diesel dotados de sistemas de inyección a baja presión, para favorecer la agitación de los gases y con ella mejorar la combustión.

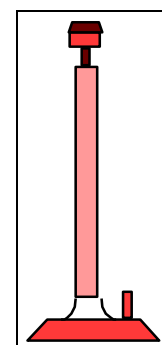


Figura 12.- Válvula con deflector.

Cada válvula se desplaza en el orificio de su *guía* correspondiente y, cuando no actúa la leva, se mantienen cerrando el orificio de la culata por la acción de un *muelle* colocado alrededor del vástago, al cual se une mediante *dos medias chavetas* y una *cazoleta*, según se presenta en la siguiente figura:

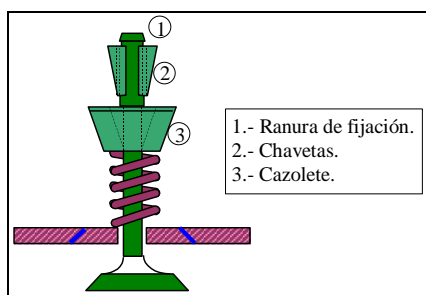


Figura 13.- Montaje de la válvula y despiece de sus componentes.

La apertura de las válvulas puede hacerse por un solo árbol de levas, o por dos, uno para las válvulas de admisión y otro para las de escape, situados uno a cada lado de la cámara de combustión. Según se utilice uno u otro modelo la disposición de las válvulas en la culata puede presentarse como se muestra en las siguientes figuras:

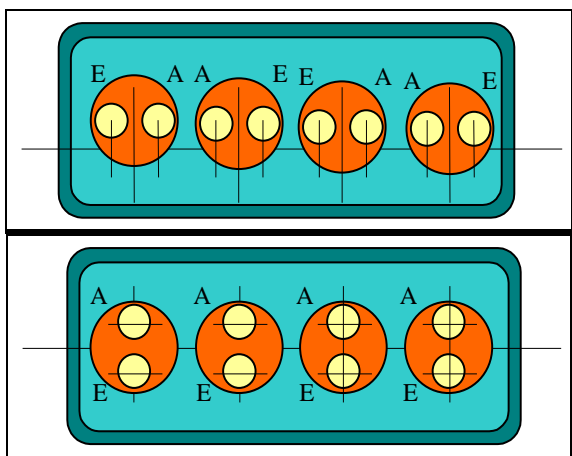


Figura 14.- Distribución de las válvulas en doble línea.

Como la culata no puede soportar los impactos que se producen durante el funcionamiento de las válvulas, se colocan en ella los denominados *asientos de válvulas*, los cuales son sencillas piezas montadas a presión en alojamientos tallados en la propia culata, conformadas de forma que el cono de las válvulas asienta perfectamente en ellas, y construidas de un acero aleado al cromo-níquel con la dureza necesaria, tratado posteriormente a la fabricación mediante nitruración.

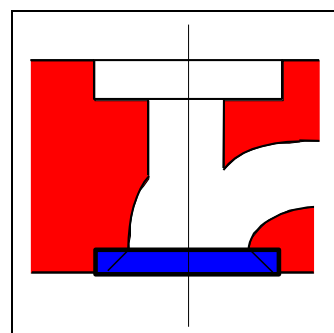


Figura 15.- Asiento de válvulas.

El montaje de estas piezas se efectúa calentando el alojamiento de la culata donde va situado el asiento, el cual se mantiene en un baño de hielo seco para su contracción. Una vez colocados los asientos en su alojamientos, al alcanzar la misma temperatura ambos elementos quedan perfectamente ajustados.

Para evitar desgastes excesivos en la culata las válvulas se desplazan en unos casquillos cilíndricos denominados *guías de las válvulas* que se colocan siguiendo el proceso indicado. Además de evitar el desgaste de la culata y de servir de guía a la válvula durante su desplazamiento, las guías transmiten el calor absorbido por las válvulas al circuito de refrigeración.

El material empleado en la fabricación de guías de válvula es una aleación semejante a la de los asientos, que además lleva molibdeno, lo que le confiere características autolubricantes.

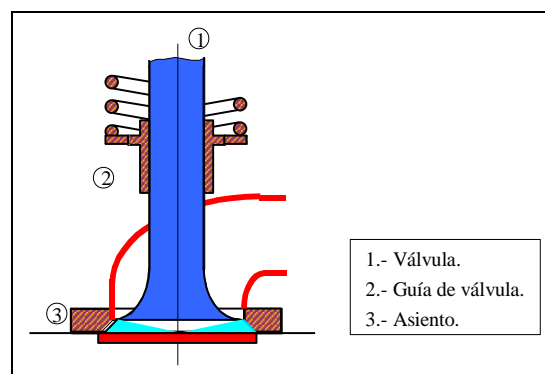


Figura 16.- Asiento y guía de válvula.

Las guías se construyen con un ajuste muy preciso con el vástago de las válvulas para evitar fugas de gases.

Para mantener asentada la válvula contra su asiento se utilizan los denominados *muelles de válvulas*. En estos se puede dar, por el hecho de soportar los esfuerzos necesarios para abrir y cerrar las válvulas, los cuales tienen una frecuencia variable con el régimen de giro del motor, en las frecuencias próximas a su natural de vibración, rebotes de forma que cuando por el

efecto del muelle la válvula se va cerrando, la distribución la abre de nuevo, lo que perjudica el correcto funcionamiento del motor. Para evitar este problema se usan muelles cuya constante elástica varía gradualmente, construyéndolos de forma que aumenta el paso progresivamente desde las espiras más próximas al asiento.

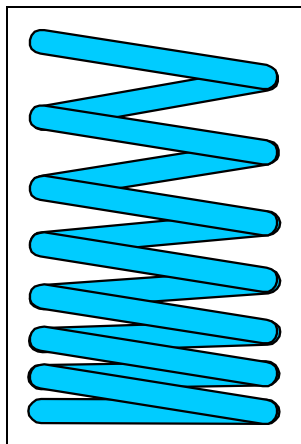


Figura 17.- Muelle de tensión gradual.

En la actualidad, en motores muy rápidos, se usan dobles muelles con las espiras invertidas, gracias a lo cual se eliminan los efectos indicados.

## LEVAS

La válvula se mantiene cerrada por la acción del muelle y se abre por el empuje de la leva. Como ha de abrirse y cerrarse una vez por cada dos vueltas del cigüeñal, la leva tiene que dar una vuelta en cada ciclo.

En el ciclo teórico se supuso que las válvulas se abrían y se cerraban instantáneamente, manteniéndose en posición de máxima apertura durante todo el tiempo correspondiente a la admisión y al escape.

Limitaciones de tipo mecánico, obligan a realizar la apertura y cierre de las válvulas de gradualmente, para ello el perfil de las levas tiene un tramo, denominado *círculo base*, que corresponde con el periodo de cierre, dos tramos *curvilíneos* o *rectilíneos* tangentes a los mismos, que corresponden con los periodos de apertura y cierre de las válvulas denominados *flancos* y un segundo círculo denominado *cresta*, que une los dos flancos que corresponde con la fase de máxima apertura.

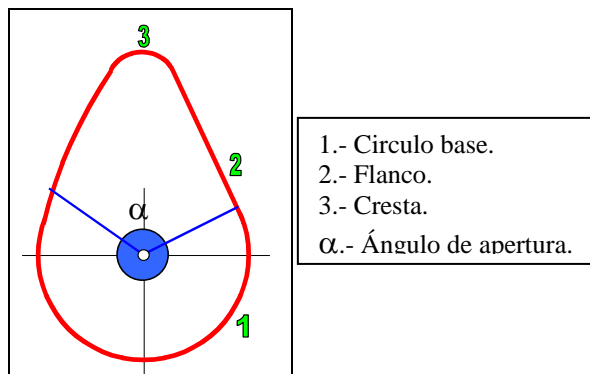


Figura 18.- Detalle de leva.

La válvula comienza a abrirse en el punto de tangencia entre círculo base y flanco, se va abriendo a lo largo de todo este, permanece abierta durante toda la cresta, empieza a cerrarse durante el segundo flanco y se cierra en el punto de tangencia de este con el círculo base.

El ángulo de apertura de la leva de admisión o de escape es la mitad del ángulo girado por el cigüeñal sumando a 180° los ángulos correspondientes a las cotas de reglaje de admisión o de escape respectivamente.

Representando en unos ejes cartesianos en abscisas el ángulo girado por la leva, y en ordenadas el desplazamiento de la válvula, se obtiene el denominado diagrama de alzada, que ofrece las siguientes características:

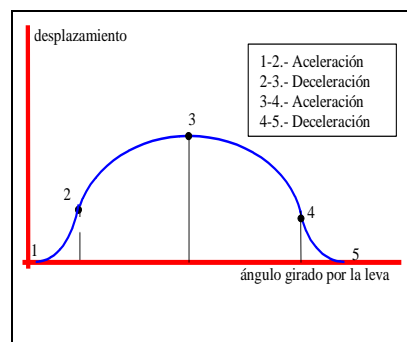


Figura 19.- Diagrama de alzada.

El movimiento de apertura y cierre de las válvulas se realiza empujando el vástago de la válvula con la fuerza suficiente como para vencer la acción del muelle, gracias a los cuales, cuando deja de haber empuje, vuelven otra vez a su posición de cierre.

La apertura y cierre de válvulas, que tiene que estar sincronizada con el ciclo de funcionamiento del motor, se realiza disponiendo las levas, tantas como válvulas lleve el motor, en un eje denominado árbol de levas, el cual normalmente va montado en el bloque del motor y para su giro se apoya en cojinetes antifricción.

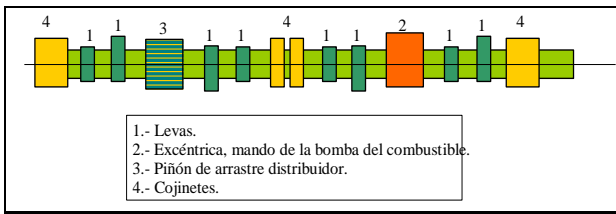


Figura 20.- Árbol de levas

Es normal que sobre el mismo árbol de levas se sitúe el accionamiento de la bomba de combustible, el del distribuidor de encendido, y el de la bomba de aceite.

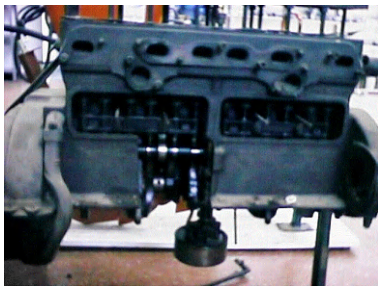


Figura 21.- Disposición del árbol de levas en el motor.

El árbol de levas se fabrica por fundición en un molde y una vez mecanizado se les somete a un tratamiento de temple, gracias al cual adquiere gran dureza. Una vez concluido el tratamiento se rectifica para su acabado.

El dimensionamiento del árbol de levas se debe hacer teniendo en cuenta que durante su funcionamiento tiene que accionar las válvulas y además mover otros órganos auxiliares del motor. Es por lo que conviene darle mayor tamaño que el estrictamente necesario ya que, como la transmisión se realiza desde uno de sus extremos y el par resistente es elevado, de no hacerse así, la fatiga debida a la torsión produciría deformaciones que harían que los cilindros más alejados tuvieran una distribución inexacta.

El accionamiento del árbol de levas se realiza desde el cigüeñal, para lo cual se emplean diferentes sistemas de transmisión, los cuales dependen del tipo de motor y de su situación en el mismo.

Como la velocidad angular del árbol de levas tiene que ser la mitad que la del cigüeñal, el diámetro del engranaje arrastrado tiene que ser el doble que el del engranaje conductor.

• Cuando la distancia entre ejes es corta, la transmisión se realiza por medio de dos engranajes en toma constante, según se muestra en la figura siguiente:

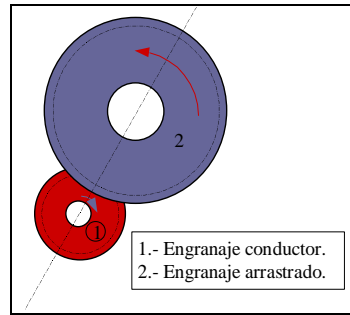


Figura 22.- Transmisión para distancia corta.

• Cuando la distancia entre ejes es suficientemente grande como para que los engranajes en toma constante sean demasiado grandes, se suele montar un tren simple de engranajes con una rueda intermedia, según se muestra en la figura siguiente:

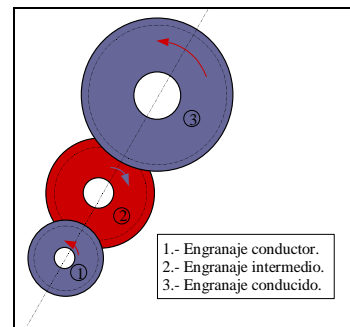


Figura 23.- Transmisión para distancia media.

En este caso, para obtener una transmisión silenciosa se emplean *engranajes de dientes helicoidales* y el piñón intermedio se fabrica de material plástico para evitar el contacto directo entre ruedas metálicas.

• Cuando el árbol de levas está situado en la culata, el sistema de transmisión consiste en dos piñones unidos por una cadena provista de tensor, gracias al cual son eliminados los desfases en la distribución y el aumento del nivel de ruido que producen el inevitable alargamiento de la cadena tras periodos prolongados de funcionamiento.

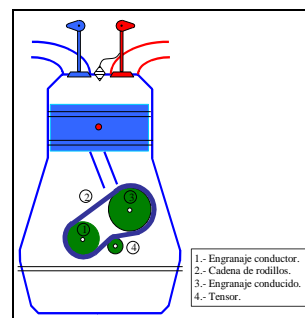
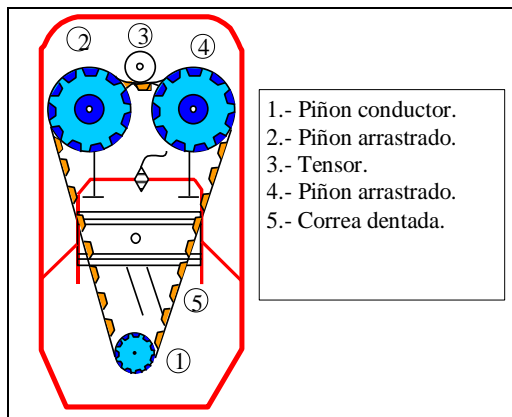


Figura 24.- Transmisión para distancia larga.

- En los motores con árbol de levas en la culata o con doble árbol de levas es frecuente utilizar una correa dentada de caucho con armadura de poliamida, cuyas mayores ventajas son su ausencia de ruido y su baja inercia. Este sistema tiene el inconveniente de requerir un mayor entretenimiento, si bien, como los piñones conductor y arrastrado van montados en el exterior del bloque, se facilita el cambio de la correa cuando se produce el desgaste de la misma.



- 1.- Piñón conductor.
- 2.- Piñón arrastrado.
- 3.- Tensor.
- 4.- Piñón arrastrado.
- 5.- Correa dentada.

Figura 25.- Transmisión de la distribución por correa dentada.

La sincronización del árbol de levas y el cigüeñal para que la apertura y cierre de las válvulas coincida exactamente con los instantes establecidos por los fabricantes del motor es necesaria. Para ello cada motor lleva unas marcas de referencia en los engranajes de la distribución que hay que hacerlas coincidir. No obstante, cuando no se conocen estas marcas, la puesta a punto se realiza por medio del volante de inercia, para ello, y una vez conocidas las cotas de reglaje del motor, se coloca el primer cilindro en el PMS. A continuación se trazan dos marcas coincidentes en cualquier punto del volante y del cárter. A partir de ellas y en sentido del avance, se marca en el volante el ángulo correspondiente al adelanto de apertura de la admisión y se gira el volante en sentido contrario, hasta que coincida la nueva marca con la anterior.

Una vez en esta posición, se hace girar el árbol de levas hasta que la válvula de admisión del primer cilindro esté en posición de iniciar su apertura, lo cual ocurre cuando el balancín entra en contacto con la cola de la válvula y, por último, se conectan los engranajes de mando.

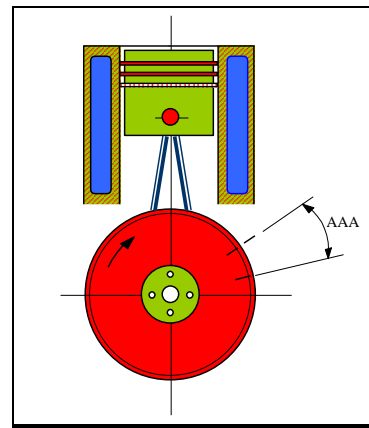


Figura 26.- Marcas del volante y cárter.

Entre la cola de la válvula y la leva tiene que haber un huelgo, el cual es necesario para absorber las dilataciones térmicas de los elementos que componen la distribución. Si no se dejara cuando el motor está frío un espacio suficiente entre válvula y taqué, cuando el motor alcanzase la temperatura de régimen, la cabeza de la válvula permanecería despegada de su asiento, lo que además de una pérdida de energía, originaría un rápido deterioro de las válvulas.

El huelgo más adecuado puede obtenerse mediante el denominado reglaje de taqués, el cual es imprescindible para el buen funcionamiento del sistema, ya que si se dejase un huelgo insuficiente, al producirse la dilatación la válvula podría quedar abierta, en cuyo caso existirían fugas y si se dejase un huelgo excesivo la válvula tardaría más en abrirse y cerrarse, abriría menos de lo previsto y habría un menor rendimiento indicado.

La holgura correspondiente viene determinada por el fabricante, el cual la fija empíricamente. Su reglaje se efectúa mediante galgas que se colocan entre la cola de la válvula y el extremo del balancín.

## BALANCINES

Son palancas que transmiten el movimiento de las levas a las válvulas. En unos casos el eje de giro de los balancines puede estar en su centro, con lo que constituyen palancas de primer género, y en otros puede estar en un extremo de la palanca, con lo que constituyen palancas de segundo género. En el primer caso se denominan *balancines basculantes* y en el segundo *balancines oscilantes*.



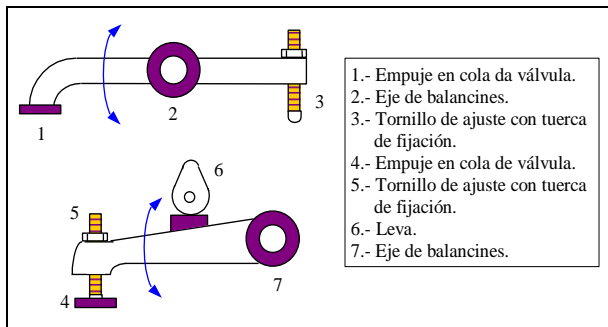


Figura 27.- Balancín basculante y balancín oscilante.

- El tipo de balancín basculante es el normalmente utilizado cuando el árbol de levas se sitúa en el bloque.
- El tipo de balancines oscilantes o semibalancines se emplean cuando el árbol de levas se sitúa en la culata.

Uno y otro tipo de balancines se fabrican de acero, mediante fundición y su conjunto va montado sobre un eje denominado *eje de balancines*, de forma que cada balancín lleva un cojinete antifricción o un rodamiento de agujas para facilitar el movimiento basculante del mismo y reducir el desgaste por rozamiento.

El eje de balancines que suele ser hueco y cerrado en sus extremos, lleva una serie de orificios que coinciden con los cojinetes o rodamientos de los balancines, por los que sale el aceite de lubricación.

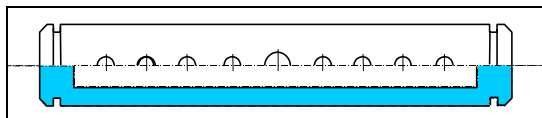


Figura 32.- Eje de balancines.

## ENTRETENIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN

El conjunto de elementos que constituye la distribución, está sometido a continuos desgastes y deformaciones producidas por los rozamientos, los choques y la elevada temperatura a que están expuestos.

Para su correcto funcionamiento es preciso realizar con cierta frecuencia las siguientes operaciones:

- Limpieza.
- Verificar el cierre hermético de las válvulas.

- Comprobar los desgastes y las deformaciones.
- Realizar ajustes entre el vástago y la leva.
- Rectificar y esmerilar las válvulas y sus asientos.
- Comprobar los muelles.