



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA -
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI

Estudio Teórico Para Un Motor Alternativo Sin Árbol De Levas Para Distribución

Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Daniel Codina Mena
Tutor: Santiago Ruiz Rosales
Curso: 2015-2016

Descripción del proyecto.

El proyecto está enfocado sobre el futuro en la renovación de la carga en los Motores de Combustión Interna Alternativos, conocidos comúnmente en el argot bajo las siglas MCIA. Previo a esto, se hará un estudio del arte sobre los sistemas que se han ido utilizando históricamente por orden cronológico. En este estudio además de una descripción concisa sobre el sistema a describir, se explicará las ventajas e inconvenientes de cada sistema.

El proyecto se centrará en los motores alternativos de 4 tiempos (MCIA/4T), se podría perfectamente haber adecuado para el mismo tipo de motor de 2 tiempos (2T), pero como en la actualidad los motores que mayormente se utilizan son los 4 tiempos se ha estimado oportuno realizar este estudio sobre éstos últimos.

Dichos sistemas se pueden emplear tanto en los Motores de Encendido por Compresión (MEC) como en Motores de Encendido Provocado (MEP). Es evidente que ambos motores no son iguales desde el punto de vista de funcionamiento, pero aun siendo conceptualmente diferentes desde el punto de vista de la combustión, la renovación de la carga tiene cierta similitud. Por ejemplo, el ciclo de trabajo de ambos está compuesto por los mismos procesos a saber: admisión, compresión, combustión y escape.

Descripció del projecte

El projecte està enfocad sobre el futur en la renovació de la càrrega en els Motors de Combustió Interna Alternatius, coneguts en l'argot sota les sigles MCIA. Prèviament, es farà un estudi de l'art sobre els sistemes que s'han utilitzat històricament per ordre cronològic. En aquest estudi a més d'una descripció concisa sobre el sistema a descriure, s'explicaran els avantatges i inconvenients de cada sistema.

El projecte se centrarà en els motors alternatius de 4 temps (MCIA/4T), es podria perfectament haver adequat per al mateix tipus de motor de 2 temps (2T), però com en l'actualitat els motors que majoritàriament s'utilitzen són els 4 temps s'ha considerat convenient realitzar l'estudi sobre aquests darrers.

Els sistemes esmentats es poden utilitzar tant en els Motors d'Engegada per Compressió (MEC) com en Motors d'Engegada Provocada (MEP). És evident que ambdós motors no són iguals des del punt de vista de funcionament, però encara que conceptualment són diferents des del punt de vista de la combustió, la renovació de la càrrega té certa similitud. Per exemple, el cicle de treball d'ambdós està compost pels mateixos processos a saber: admissió, compressió, combustió i escapament.

Project description

The project focuses on the future of the renewal of the Reciprocating Internal Combustion Engines load, also known as RICE.

Previous to this there is a study on the chronological evolution and history of the systems that have been used up to the present time. Apart from a concise description of every system, the advantages and disadvantages will also be shown.

The project is centered on the four-stroke reciprocating engines because these are the most used nowadays.

The Reciprocating Internal Combustion systems can be used in both Ignition Compression and Spark-Ignition Engines. There is no doubt that these engines are not the same regarding their performance however, referring to ignition the renewal of the load is similar. That is, the performance cycle implies the same processes being such the admission, compression, ignition and exhaust.

1. Introducción.	7
1.1 Pérdidas en el lazo de bombeo.	17
1.2 Diagrama de distribución.	18
1.2.1 Avance apertura de la válvula de escape (AAE)	20
1.2.2 Cruce de válvulas	21
1.2.3 Retraso al cierre de la válvula de admisión (RCA)	23
2. Sistema de distribución convencional.	25
2.1 Árbol de levas:	28
2.2 Válvulas	30
2.2.1 Muelles de las válvulas	35
2.2.2 Válvulas múltiples	36
2.2.3 Refrigeración de válvulas	37
2.3 Levas	39
2.4 Balancines	41
2.5 Empujador	42
2.6 Taqué hidráulico	43
3. Mejoras del sistema	44
3.1 Tipología de sistemas de distribución variable.	46
4. Clasificación de los sistemas de distribución variable	48
4.1 Desplazamiento del árbol de levas. Convertidores de fase.	49
4.2 Sistema VANOS	52
4.3 Variocam de Porsche	55
4.4 Sistema VTEC de Honda	57
4.5 Sistema VarioCam Plus	59
4.6 Valvetronic de BMW	61
4.7 Sistema Multiair de grupo Fiat	64
5. Sistema de distribución camless electro-hidráulico	67
5.1 Bombas hidráulicas	68
5.2 Bloque de railes y actuadores	69
5.3 Principio de funcionamiento	70
6. Sistema de distribución camless electro-mecánico	72
6.1 Funcionamiento de los actuadores	73
6.2 Lógica de funcionamiento	74
7. Conclusiones	75
8. Bibliografía	79

1. Introducción.

Para comenzar a hablar de la renovación de la carga de un MCI, antes se debe saber los distintos tipos de motores MCI que se pueden encontrar actualmente en funcionamiento. Éstos se dividen en 2 grupos:

- Motores de Encendido Provocado (en adelante MEP)
- Motores de Encendido por Compresión (en adelante MEC)

Se describen en primer lugar los **MEP**. Son motores cuyo ciclo de trabajo está basado en el ciclo Otto, y su energía calorífica la extraen de combustibles basados en fracciones ligeras del petróleo, tales como la gasolina o el gas natura (GN).

El ciclo Otto tiene la forma que se observa en la figura adjunta.

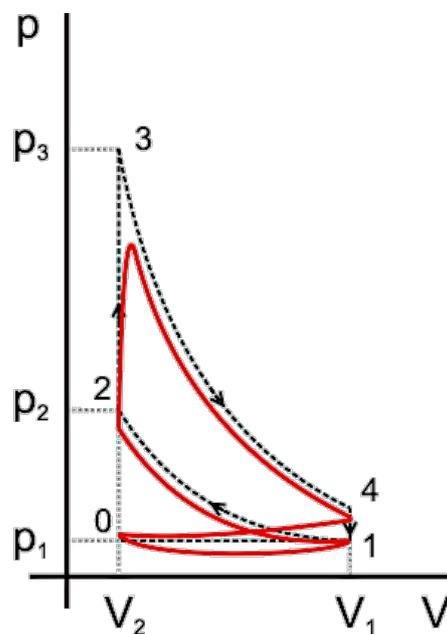


FIGURA 1.1: DIAGRAMA CICLO OTTO

La línea a trazos representa el ciclo teórico y la línea de color rojo representa el proceso real. Esta gráfica está representando las fases del motor durante los 4 tiempos de un ciclo, que para este tipo de motores equivale a 2 vueltas del cigüeñal.

Este trabajo se va a centrar en la repercusión que existe en el ciclo de bombeo, que comprende la fase de admisión de gases frescos antes de la compresión y la fase de expulsión de los gases de la combustión después de la expansión. Dicho ciclo es del punto 0 al 1, y del punto 4 al 0. Pero se va a hacer una breve introducción del funcionamiento del motor.

Estos motores normalmente funcionan con dosado estequiométrico. El dosado estequiométrico es la relación que existe entre el combustible y el comburente para que en la combustión se enlace cada partícula de ambos compuestos, expulsándose teóricamente por la válvula de escape CO_2 y H_2O . Para que esto ocurra en el motor debe de entrar la mezcla necesaria de aire-combustible, la cual se trata de una

proporción, por cada kilogramo de gasolina que se introduzca dentro del cilindro, se introducirá 14,6 kilogramos de aire.

Un parámetro muy importante, el cual ayuda a calcular la medida del dosado estequiométrico es el coeficiente de aire o relación lambda (λ). Lambda es el cociente de la masa de aire aportada y la masa de combustible necesario para combustión estequiométrica.

Por lo tanto si:

- Lambda = 1: El volumen de aire aspirado corresponde al valor teórico necesario, (Proporción de aire estequiométrica).
- Lambda < 1: Déficit de aire o mezcla rica.
- Lambda > 1: Exceso de aire o mezcla pobre.

En la siguiente tabla están expuestas las consecuencias dependiendo del valor lambda con el que esté funcionando el motor.

Mezcla	%	Consecuencias
Rica	<0,75	El motor se ahoga y la mezcla no inflama por lo que el motor deja de funcionar.
	0,75-0,85	Mezcla demasiado rica, que en un uso instantáneo, proporciona incrementos de potencia.
	0,85-0,95	Potencia máxima en régimen continuo (pendiente, adelantamientos, etc.)
Normal	0,95-1,05	Conducción normal.
Pobre	1,05-1,15	Mínimo consumo con ligera pérdida de potencia
	1,15-1,30	Disminución considerable de potencia con aumento de consumo por pérdida de rendimiento.
	>1,30	El motor no funciona, no se propaga la llama.

TABLA 1.1: VALORES DE “LAMBDA” E INTERPRETACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

En la gráfica siguiente se puede ver de un rápido vistazo la potencia y el consumo específico que se obtiene en un motor dependiendo en este caso únicamente del valor lambda.

- a Mezcla rica (falta de aire)
b Mezcla pobre (exceso de aire).

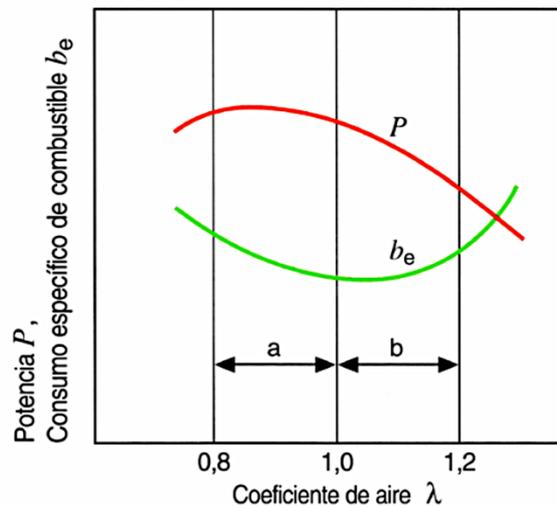


FIGURA 1.2: INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE AIRE SOBRE LA POTENCIA Y EL CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE.

Ahora que ya se ha visto la variable lambda y se conoce cómo afecta al consumo y a la potencia del motor, se va a estudiar cómo afecta ésta variable, en los contaminantes.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

La emisión de monóxido de carbono (CO) aumenta con las mezclas ricas, es decir para mezclas con un factor ($\lambda < 1$). El oxígeno existente no es suficiente para completar la combustión, por lo que el contenido de CO en los gases de escape es elevado.

Por el contrario el monóxido de carbono (CO) disminuye con las mezclas pobres, o sea para mezclas con un factor ($\lambda > 1$). El oxígeno presente es abundante y la combustión tiende a completarse, por lo que el contenido de CO en los gases de escape alcanza valores mínimos.

HIDROCARBUROS SIN QUEMAR (HC)

La concentración de hidrocarburos sin quemar se reduce a valores mínimos para relaciones aire-gasolina ligeramente superiores a la estequiométrica, es decir, para mezclas clasificadas como pobres ($\lambda = 1,2$). Con mezclas ricas es imposible quemar por completo los hidrocarburos por falta de oxígeno. Por el contrario, con mezclas muy pobres ($\lambda > 1,2$) se pueden tener retrasos en la combustión, dificultad de propagación de la llama o fallos de encendido al haberse superado los límites de inflamabilidad. En

este caso la combustión resulta incompleta y se comprueba un aumento significativo de los HC emitidos en el escape.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

La dosificación de la mezcla influye también en la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Una mezcla pobre contiene una cantidad mayor de oxígeno que facilita la formación de NO_x. Para valores ligeramente superior a la relación estequiométrica se obtiene la concentración máxima de NO_x. Si aumenta aún más la dosificación, disminuye la temperatura de combustión y por consiguiente se reduce la cantidad de óxidos de nitrógeno aunque exista exceso de oxígeno.

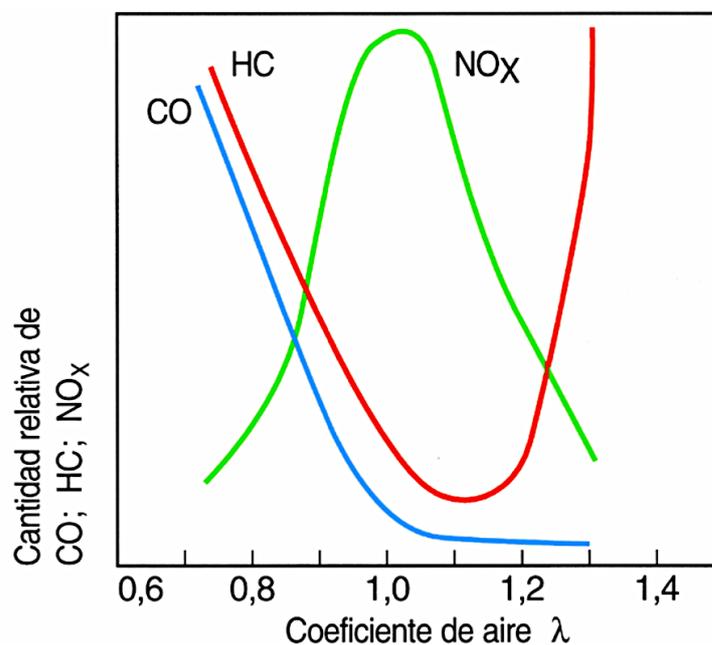


FIGURA 1.3: INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE AIRE SOBRE LA COMPOSICIÓN DE CONTAMINANTES EN LOS GASES DE ESCAPE.

Conocidas las características anteriores para poder tener una idea de cómo influirá el proceso de la renovación de la mezcla en los motores gasolina, vamos a introducir los motores Diesel.

Estos Motores tienen diferencias significativas respecto a los motores de encendido provocado, aunque no se vayan a tratar todas en este trabajo, pero no se explicarán porque no repercuten en el tema principal de este trabajo.

A continuación se observan 2 diagramas PV, en el diagrama de la izquierda se encuentra representado el ciclo Diesel teórico, por otro lado, en el diagrama de la derecha se observa el ciclo Diesel real.

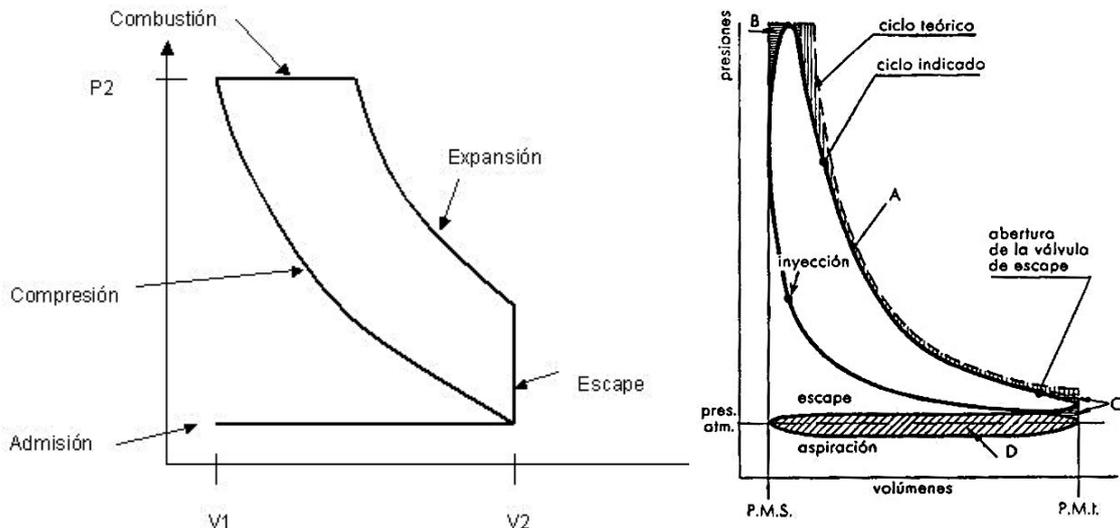


FIGURA 1.4 Y 1.5: CICLO DIESEL TEÓRICO FRENTE CICLO DIESEL REAL

El dosado estequiométrico de un Motor Diesel es de 1 Kg de aire por 14,5 Kg de combustible, pero a diferencia del motor Otto el cual trabaja con una relación estequiométrica (a excepción de algunos puntos de funcionamiento), el motor Diesel siempre trabaja con una mezcla pobre, además de esto no necesita de una premezcla de aire combustible antes de entrar dentro del cilindro, con lo que en este motor no se necesita de ningún impedimento de entrada del aire (tal como ocurre con el Otto con la mariposa de admisión), sino al contrario, la entrada de aire en la cámara de combustión producirá un efecto beneficioso para la combustión porque la mezcla es más heterogénea.

¿Porque es una mezcla heterogénea?

Porque no existe tiempo necesario para que sea de otro modo. Como ya se ha mencionado, en la fase de admisión únicamente se introduce aire en el cilindro, y es casi al final de la carrera ascendente del pistón de la fase de compresión de este aire cuando empieza la pre-inyección del carburante, por lo que nunca se obtendrá en su totalidad un mezcla homogénea exacta como si se puede lograr en el ciclo Otto, esto implica que parte del combustible se quema sin el aire necesario, y por tanto se forme hollín incandescente. Para evitar este efecto nunca se llega a utilizar un dosado estequiométrico en este ciclo, en caso contrario las emisiones contaminantes serían inadmisibles desde el punto de vista legal.

Por esta causa a los motores MEP se les llaman motores con regulación de la carga cuantitativa (más o menos mezcla) y a los MEC cualitativa (más o menos combustible).

En el ciclo Diesel a diferencia con el ciclo Otto el aporte de energía se produce a presión constante. Esto ocurre por la forma en la que se produce la combustión, en el primero existe una combustión provocada por la chispa de una bujía y en el segundo la combustión no la provoca una chispa sino que es por autoencendido por la alta temperatura en la cámara de combustión.

En el ciclo teórico de Otto se considera que la combustión se realiza a volumen constante, aunque realmente no es isócoro porque la chispa tiene lugar en una parte de la cámara de combustión y para propagarse existe un frente de llama el cual tiene una velocidad del orden de 20 a 25 m/s, por lo que ésta tardará un tiempo -por pequeño que sea- en el cual el pistón ya se habrá movido de su posición respecto al instante del salto de la chispa, cambiando de esta manera el volumen de la cámara de combustión.

Por otro lado en ciclo Diesel se considera que el ciclo es a presión constante debido a que el encendido de la mezcla se produce por autoinflamación por lo que se considera que se va encendiendo por focos de calor sucesivamente mientras el pistón ya se va desplazando hacia el PMI, esto sería el ciclo teórico, se desarrolla a continuación como sucede la combustión real en este ciclo.

Este ciclo tiene 3 fases:

Fase 1. Retraso al autoencendido: Es una fase sin liberación de calor, es el tiempo que transcurre entre el inicio de la inyección y el de la combustión.

Fase 2. Fase de combustión premezclada: Es el tiempo desde el inicio de combustión propiamente dicha hasta el primer pico de liberación de calor. Es una fase relativamente corta y con una liberación de calor bastante intensa y rápida. Crea un gradiente de presión en la cámara que es responsable del ruido característico en un MEC.

Fase 3. Fase de combustión por difusión: Esta fase transcurre desde el final de la combustión premezclada hasta el final del proceso de combustión. Es la fase que más suele durar en el tiempo. Dentro de esta fase, suele subdividirse en 2 partes, tomando como referencia el final de la inyección. Se habla de combustión por difusión principal hasta el final de la inyección, y combustión por difusión tardía, a partir de este punto.

Se va a ver las emisiones contaminantes que desprenden este tipo de motores de igual manera se hizo con los MEP.

MONÓXIDO DE CARBONO. (CO).

Respirar cantidades menores de este gas produce vértigo, fatiga y cefalea y en cantidades mayores evita el transporte de oxígeno a la sangre y puede producir la

muerte, el síntoma común cuando se está respirando elevada cantidad de monóxido de carbono es el sueño.

Los motores Diesel emanan menor cantidad de monóxido que un motor de ciclo otto, sin embargo, la elevada admisión de aire de los motores Diesel es la responsable de la producción de éste.

HIDROCARBUROS. (HC).

En el motor Diesel, la salida de éstos se relaciona directamente con el combustible sin realizar la combustión, estos contaminantes en concentraciones altas produce irritación de las mucosas.

Los motores Diesel tienen una elevada formación de hidrocarburos en el ambiente, los motores antiguos sin controles fiables en la inyección emanan bastante combustible sin quemar a la atmósfera.

Para evitar la exhalación de hidrocarburos a la atmósfera, se tienen en cuenta varios factores:

- *Tiempo de inyección:*

Cuando existe un adelanto en la inyección se producen menos HC, a manera que se atrasa ésta, aumenta el contaminante.

- *Estado de los inyectores:*

Un inyector que no pulveriza bien, es combustible que no logra descomponerse y evaporarse a tiempo, siendo así, el combustible saldrá por el escape sin quemar.

- *Temperatura del refrigerante:*

Un motor frío equivale a una mala combustión, entonces una ventilación excesiva del radiador y el termostato abierto o inexistente, provocará una mala combustión.

- *Cantidad de aire admitido:*

Los factores que influyen en la entrada de aire son: el estado del filtro de aire, la calibración valvular y el estado del Turbocompresor. Éstos deben estar en perfecto estado para obtener una buena eficiencia volumétrica y una mayor temperatura en la cámara, como consecuencia se obtendrá una baja emisión de hidrocarburos.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

Se ha encontrado que el dióxido de nitrógeno causa lesiones y cambios destructivos en los pulmones. En el hombre, aparecen los efectos agudos después de una exposición a concentraciones altísimas de 500 partes por millón (ppm).

Los motores Diesel son altamente productores de óxidos de nitrógeno, ya que éstos se producen en altas cantidades cuando se tienen temperaturas de combustión muy elevadas y el ciclo Diesel produce una cantidad de calor mayor que el ciclo Otto.

La emanación de óxidos de nitrógeno depende de estos factores:

- *Tiempo de Inyección:*

A mayor adelanto, mayor temperatura de combustión y mayor cantidad de NOx.

- *Relación de compresión:*

A mayor relación de compresión mayor temperatura de combustión y mayor producción de óxidos de nitrógeno.

- *Dosificación de combustible:*

A menor inyección de combustible, mayor cantidad de NOx.

A medida que han avanzado los motores Diesel se ha logrado controlar el consumo de combustible en ellos, y para esto han subido las temperaturas de las cámaras de combustión, pero con ello se dispararon los índices de producción de óxidos de Nitrógeno, para controlar éstos se introdujo la recirculación de gases de escape con la válvula EGR, de esta manera se ha conseguido reducir la cantidad de oxígeno en la cámara de combustión, lo cual reduce su temperatura. También se han reducido los NOx incluyendo una inyección extra de combustible al final del tiempo de expansión para bajar la temperatura de los gases, pero aumenta el consumo.

Para controlar de forma más efectiva la producción de este contaminante se ha llegado al tratamiento posterior de los gases de escape con el sistema de reducción catalítica selectiva e inyección de AdBlue, un aditivo en base de Urea.

MATERIAL PARTICULADO (MP)

Todas las partículas sólidas y líquidas suspendidas en el medio gaseoso, a excepción del agua, se considera material particulado. El MP es perjudicial para el hombre, son las partículas menores a 10 micras las que pueden penetrar en las vías respiratorias, éstas tienen el potencial para producir efectos sobre la salud.

Los motores Diesel son los que más aportan este tipo de contaminante al medio ambiente. El más común es el hollín, a simple vista se puede observar como el humo negro de los escapes. Este hollín, se produce por la falta de utilización del combustible quemado, es decir, el combustible se quema, pero debe completar su ciclo de combustión transformándose en energía calorífica para enviar el pistón con la mayor fuerza posible, pero al no completarse bien el ciclo, estos gases salen por la válvula de escape quemándose en forma de hollín. Este fenómeno se produce bastante en los motores Diesel por la falta de homogeneidad en la mezcla del combustible.

Los factores que influyen en la producción de material particulado son:

- *Cantidad de combustible inyectado:*

Si se tiene una cantidad exagerada de combustible y poco oxígeno en la cámara, pero la temperatura es bastante alta como para que exista la combustión, la mezcla será muy rica y formará gran cantidad de hollín.

- *El tiempo de inyección:*

Si éste se alarga más de lo debido o tiene un atraso de la inyección demasiado tardía también se crearán este tipo de partículas.

- *Calibración valvular:*

Si la válvula de admisión no abre durante el tiempo establecido, habrá una mezcla muy rica por falta de oxígeno, de igual manera, si la válvula de escape no abre durante su tiempo preestablecido, quedarán gases de escape en la cámara, calentando ésta exageradamente, produciéndose mucha materia particulada.

Como ya se ha visto las diferencias entre los dos MCIA, y algunas características básicas de éstos, ya se puede pasar a hablar de la renovación de la carga.

En los motores convencionales de cuatro tiempos el control de las fases del ciclo abierto se realiza mediante el sistema de distribución, que comanda la apertura sincronizada de las válvulas de admisión y escape. En estos motores el proceso de renovación de la carga se realiza durante una de las 2 vueltas necesarias para completar el ciclo.

El proceso de la renovación de la carga tiene una gran influencia sobre las prestaciones de los MCIA, la potencia máxima que se puede obtener del motor está limitada por la cantidad de aire introducida en los cilindros.

La efectividad del llenado de los cilindros será el primer objetivo en la optimización del proceso de renovación de la carga. Esto es lo que lleva a hablar del rendimiento volumétrico.

Este parámetro es el más útil para cuantificar el proceso de llenado del cilindro. Este valor es el cociente entre la masa de aire o la mezcla real que entra en el motor y el que realmente puede introducirse en unas condiciones de referencia.

En los motores atmosféricos siempre será inferior a la unidad mientras que en los motores turboalimentados este valor puede ser mayor a la unidad si se toman los valores atmosféricos como valor de referencia, siendo ésta una mala referencia ya que puede inducir a errores de concepto.

Por otra parte el proceso de renovación de la carga tiene un coste energético que va a repercutir en el rendimiento efectivo del motor.

Se procede a la explicación del ciclo teórico de la renovación de la carga:

En el ciclo ideal el proceso de escape se realiza tras la carrera de expansión, donde la válvula de escape se abre instantáneamente en el PMI. Entonces parte de los gases encerrados en el cilindro salen de forma espontánea hasta que se equilibra la presión con el sistema de escape (escape espontáneo). Tras esta primera descarga, el pistón empuja los gases hacia el conducto de escape mediante una descarga ideal a la presión existente en el escape, hasta que el pistón alcanza el PMS, proceso conocido como de barrido. En el PMS y también de forma instantánea, se produce el cierre de la válvula de escape y la apertura de la de admisión.

El proceso de admisión ideal se realiza durante la carrera correspondiente, también a presión constante e igual a la del conducto de admisión, siguiendo las mismas hipótesis que en el proceso de escape. En el PMI se cierra instantáneamente la válvula de admisión dando comienzo al ciclo cerrado.

El proceso real no se va a producir según este relato por varios motivos: las válvulas no se accionan de forma instantánea ya que la leva tiene una forma (ley de la leva) y es la que marca de qué forma y en qué momento se va accionar, por lo que los momentos de inicio de apertura y de cierre han de ser modificados para tener en cuenta la duración de estos procesos. Además el tiempo que están las válvulas abiertas va ligado con el régimen de giro del motor, por lo tanto cuando éste tenga un régimen de giro mayor el tiempo que las válvulas permanecen abiertas será menor con lo que el rendimiento volumétrico decaerá.

1.1 Pérdidas en el lazo de bombeo.

Las pérdidas producidas por el estrangulamiento de la mariposa durante el funcionamiento a cargas parciales en los MEP, y por las válvulas de admisión y escape son las más relevantes en el trabajo de bombeo. Otros elementos de la línea de admisión como filtros, colector o intercooler tienen una influencia secundaria en las pérdidas de carga en la admisión.

En el caso de la línea de escape es de destacar la contribución a la contrapresión que producen los sistemas de silenciamiento y de tratamiento de gases. El efecto que tiene la contrapresión de escape sobre el llenado es más limitado ya que se reduce al periodo del cruce de válvulas en que las válvulas de admisión y de escape están abiertas simultáneamente. Si la contrapresión es elevada durante esa fase se dificulta la salida de los gases residuales e incluso se pueden producir reflujos desde el cilindro y el escape hacia la admisión. Esto hace aumentar la tasa de residuales y reduce el volumen disponible para admitir carga fresca.

Una mención aparte merece la contrapresión generada por la turbina de sobrealimentación, que puede llegar a ser muy importante. Sin embargo, la contrapresión producida por la turbina se transforma en trabajo que se emplea para subir la presión de admisión, llegándose a situaciones en las que el trabajo de bombeo resulta positivo.

1.2 Diagrama de distribución.

Se pasa a ver ahora el diagrama de distribución, este diagrama indica, la situación exacta del pistón, fase la cual se está produciendo dentro del motor (admisión, compresión, expansión y escape), apertura, duración y cierre de las válvulas.

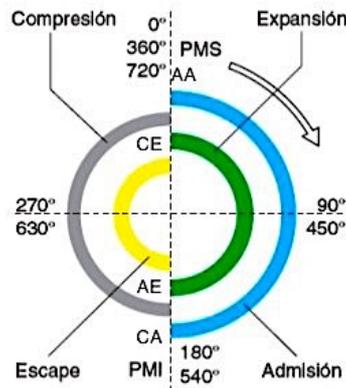


FIGURA 1.6: DIAGRAMA TEÓRICO DE DISTRIBUCIÓN

El proceso ideal de la renovación de la carga ya se ha explicado anteriormente, pero ahora se va a detallar lo que indica el diagrama. El punto de referencia es 0° , en este punto el pistón se encuentra en el PMS, la válvula de admisión se abre al mismo tiempo que el pistón se dirige hasta el PMI, entonces la válvula se cierra. La próxima media vuelta de cigüeñal la comprende la compresión. Desde los 360° hasta los 540° se produce la expansión del pistón y es el único en el cual se produce un trabajo positivo y aprovechable en el ciclo. En los ciclos de compresión y de expansión las dos válvulas permanecen cerradas creando un sistema cerrado. Una vez en el PMI la válvula de escape se abre hasta que el pistón llega nuevamente al PMS y ésta se cierra.

Tal como se verá a continuación, las fases se modificaran para obtener un mayor rendimiento del motor. No existe una ciencia cierta, es decir, cada marca y en cada motor utilizan un diagrama de distribución distinto, que ha sido optimizado por el fabricante en su banco de pruebas.

En la imagen siguiente se puede observar las modificaciones.

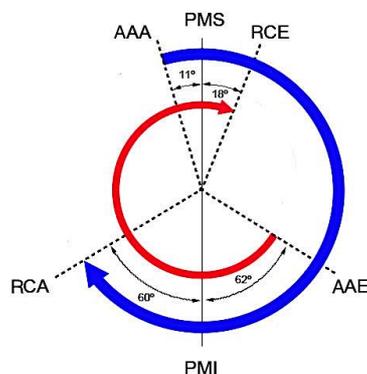


FIGURA 1.7: DIAGRAMA REAL DE DISTRIBUCIÓN

Se observa en el diagrama que todas las cotas de las válvulas están modificadas en mayor o menor medida, para mejorar el rendimiento volumétrico en un rango de revoluciones dado.

Existen unos valores máximos establecidos de los que no es lógico salir de ellos porque esto repercute en más pérdidas que beneficios.

Valores límite en MEP-MEC turismos convencionales (no deportivos):

- RCE: 30°
- AAE: 75°
- RCA: 75°
- AAA: 30°

Valores habituales MEP-MEC turismos convencionales:

- RCE: 15°-22°
- AAE: 58°
- RCA: 64°
- AAA: 8°-10°

Valores para MEP de altas prestaciones:

- RCE: 40°
- AAE: 80°
- RCA: 80°
- AAA: 40°

1.2.1 Avance apertura de la válvula de escape (AAE)

La apertura de la válvula de escape se produce durante la carrera de expansión, por ello se habla de avance a la apertura del escape. Una apertura adelantada disminuye la presión en el cilindro durante la última parte de la carrera de expansión, debido a la salida de los gases quemados en el cilindro. Esto hace que la presión durante la carrera de escape sea menor y que el trabajo de bombeo se reduzca. La elección del ángulo de avance óptimo depende pues del balance entre la pérdida de trabajo de expansión y la reducción del bombeo, esto es, el trabajo neto.

Para cada condición de funcionamiento existe un avance a la apertura del escape que optimiza el trabajo neto del ciclo. En particular, el avance óptimo varía con el régimen de giro, ya que al aumentar éste, se reduce el tiempo en el que se realiza el ciclo. De esta manera es lógico que al aumentar el régimen de giro el avance óptimo sea mayor. En sistemas de distribución fijos esto no es posible, por lo que se elige un valor de AAE que optimice un régimen intermedio.

En el caso de los motores sobrealimentados con turbina, el balance energético a realizar debe incluir también a la turbina. Cabe aquí decir que al avanzar la apertura de escape aumenta la energía de los gases de escape a la entrada de la turbina, aunque suele ser más eficiente recuperar esta energía en el cilindro que en el turbogrupo.

1.2.2 Cruce de válvulas

Los efectos de variar los eventos de retraso al cierre de la válvula de escape (RCE) y de avance apertura de la admisión (AAA) sobre el rendimiento volumétrico y las pérdidas de bombeo son similares, por lo que se tratarán de forma conjunta relacionando ambos efectos con el llamado cruce de válvulas.

Se entiende por cruce de válvulas el período en que las válvulas de admisión y de escape están abiertas simultáneamente. Numéricamente, el cruce de válvulas se calcula como la suma de los ángulos de avance a la apertura de admisión y de retraso al cierre del escape.

El cruce de válvulas se produce alrededor del punto muerto superior del ciclo abierto, esto es, cuando la distancia entre pistón y culata es mínima. Ésta puede ser una primera limitación en cuanto a la amplitud del cruce de válvulas ya que las válvulas podrían tocar con el pistón. En algunos diseños, para evitar el choque, se labran en la cabeza del pistón unas poquedades en las que se alojan las válvulas cuando las mismas están abiertas, evitando el contacto. En otros motores, el cruce de válvulas es nulo o incluso hay un periodo en que tanto las válvulas de escape como las de admisión están cerradas (o casi) de manera que se produce un aumento de la presión en la cámara denominada recompresión.

Los fenómenos de trasiego de gases durante el cruce de válvulas están controlados por las presiones que existen en ese momento en el cilindro y en los colectores de admisión y de escape.

Por lo que se dan estos 3 casos.

1º caso. La presión del cilindro es mayor que la de admisión.

Tal como se observa en la figura, este caso puede producir reflujos hacia la admisión. Los gases quemados se alojan en los conductos de admisión y son aspirados nuevamente por el cilindro durante el siguiente periodo de entrada de aire al cilindro, reduciendo así, el rendimiento volumétrico y aumentando a su vez la tasa de residuales.

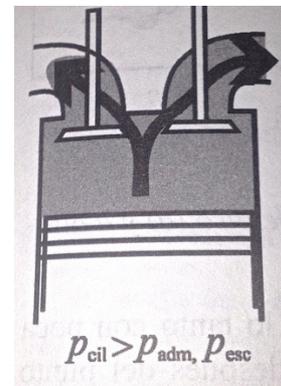


FIGURA 1.8: REFLUJOS HACIA LA ADMISIÓN PROVENIENTES DEL CILINDRO.

2º caso. La presión del escape es superior a la del cilindro.

Los reflujos hacia la admisión pueden provenir también desde el escape.

En este caso es habitual reducir el cruce para evitar reflujos y tasas de residuales elevadas.

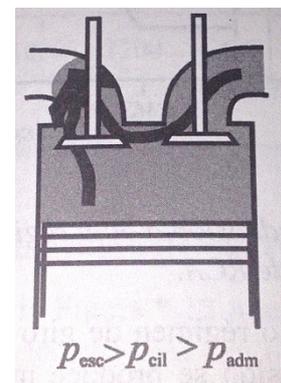


FIGURA 1.9: REFLUJOS HACIA LA ADMISIÓN PROVENIENTES DEL ESCAPE.

3º caso. La presión de admisión sea superior a la del cilindro y al escape.

Se va a producir un barrido de la cámara de combustión y cortocircuito de gases frescos hacia el escape.

En el caso de los MEC el cortocircuito será aire y en los motores industriales se utiliza para reducir la temperatura de los gases debido a eventuales necesidades de refrigeración de la turbina o del colector de escape. En el caso de los MEP de inyección indirecta el cortocircuito será mezcla aire-combustible, lo que conlleva un aumento de las emisiones de hidrocarburos y una reducción del rendimiento efectivo del motor. Aun así, se puede buscar este efecto en motores de altas prestaciones o de competición para la mejora en el llenado del motor.



FIGURA 1.10: LOS GASES FRESCOS ESCAPAN POR EL ESCAPE “CORTOCIRCUITO”

El cruce de válvulas óptimo para un motor depende de muchos factores. En primer lugar de la relación entre las presiones instantáneas de escape y admisión durante el cruce. Esta presión es muy importante, ya que se pueden dar situaciones en las que las presiones medias de admisión y de escape durante el ciclo sean muy diferentes de las que hay instantáneamente durante la fase de cruce de válvulas.

Por otra parte, si la presión en la admisión es muy superior a la de escape se puede aumentar el cruce para aumentar el barrido. Aunque, en ocasiones, se puede mejorar la eficiencia del llenado, gracias a reducir el cortocircuito de aire fresco hacia el escape, o bien evitar el envío a la atmósfera de combustible sin quemar.

Los efectos de inercia que se producen en el colector de escape debido al trasiego de gases durante el cruce en función del régimen de giro, son responsables de que los gases continúen saliendo aún cuando la velocidad del pistón sea nula en el PMS. Estos efectos de inercia permiten mejorar el barrido de los gases quemados pero aumentan el cortocircuito a muy alto régimen de giro.

Así, es habitual que motores que están optimizados para trabajar a regímenes de giro bajos en los que los efectos de inercia son reducidos, el cruce de válvulas es pequeño o inexistente.

En cambio, en motores en los que se quiere optimizar el comportamiento a alto régimen es más habitual diseñar un cruce de válvulas importante, aunque siempre limitado por la distancia entre las válvulas y pistón para evitar el contacto.

1.2.3 Retraso al cierre de la válvula de admisión (RCA)

El cierre de la válvula de admisión se produce en la carrera de compresión. Esto se hace así porque al final de la carrera de admisión, aun cuando la velocidad del pistón se reduce al acercarse al PMI, el cilindro se sigue llenando si los gases entrantes por la admisión tienen suficiente velocidad.

Así, al igual que se ha visto para los demás eventos, a mayor regímenes de giro es mejor tener RCA elevados para poder aprovechar los efectos de la inercia. Sin embargo, a bajo régimen de giro es idóneo reducir el RCA para evitar reflujos hacia la admisión.

En esta gráfica se muestra la evolución del gasto instantáneo en la válvula de admisión para valores distintos del RCA.

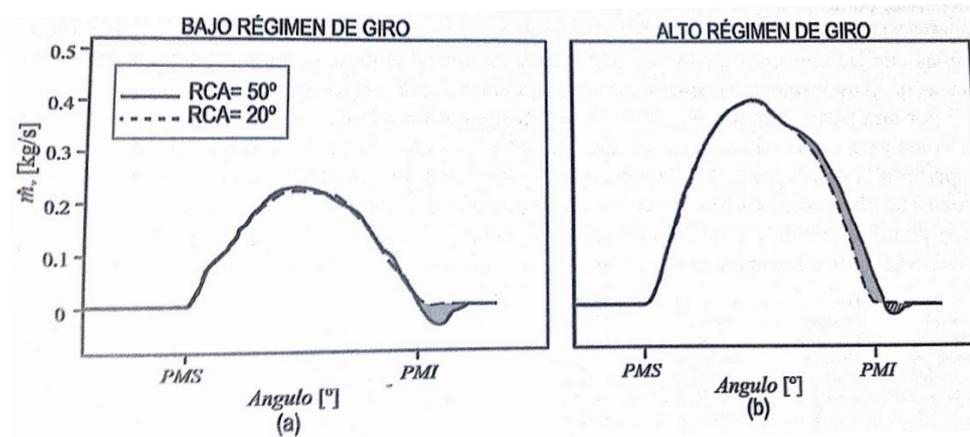


FIGURA 1.11: GASTO INSTANTÁNEO EN LA VÁLVULA DE ADMISIÓN A BAJO RÉGIMEN (A) Y A ALTO RÉGIMEN DE GIRO (B) PARA DOS VALORES DISTINTOS DE RCA

En la figura (a) se muestra un caso a bajo régimen de giro y por lo tanto con poca inercia. En esta situación, si el cierre de la admisión se produce mucho después del punto muerto inferior se producen reflujos desde el cilindro hacia el conducto de admisión en el momento en que el pistón comienza su carrera ascendente. Este reflujo está sombreado en la figura.

La consecuencia de esto es que parte del aire que ha entrado durante la carrera de admisión sale del cilindro reduciendo el rendimiento volumétrico.

A alto régimen de giro se aprecia que con un mayor RCA entra un mayor caudal de aire al cilindro antes del PMI, debido a que al retrasar será mayor el levantamiento de la válvula en esa fase.

Esto se ha marcado con la zona oscurecida de la (b), se aprecia que es incluso posible que el aire siga entrando al cilindro después del punto muerto inferior, debido a la gran inercia de los gases. El incremento de gasto en la última fase de la admisión incluso compensa que poco antes del cierre de la válvula puedan aparecer pequeños reflujos como el que se ha marcado en la zona rayada de la figura.

En resumen, con un retraso importante aparecerán reflujos a bajo régimen, pero el llenado a alto régimen será mejor. Con un retraso más reducido se pueden evitar los reflujos a bajo régimen pero el llenado se verá perjudicado a alto régimen de giro.

La Figura siguiente muestra el rendimiento volumétrico en función del régimen de giro y para distintos valores de RCA, en el caso de un MEC sobrealimentado de seis cilindros usado en transporte pesado.

La gráfica muestra claramente cómo valores bajos del RCA mejoran el rendimiento volumétrico a bajo régimen, mientras que los RCA mayores lo empeoran por causa de los reflujos. Sin embargo, valores mayores de RCA aportan claras mejoras al rendimiento volumétrico en la zona de alto régimen de giro.

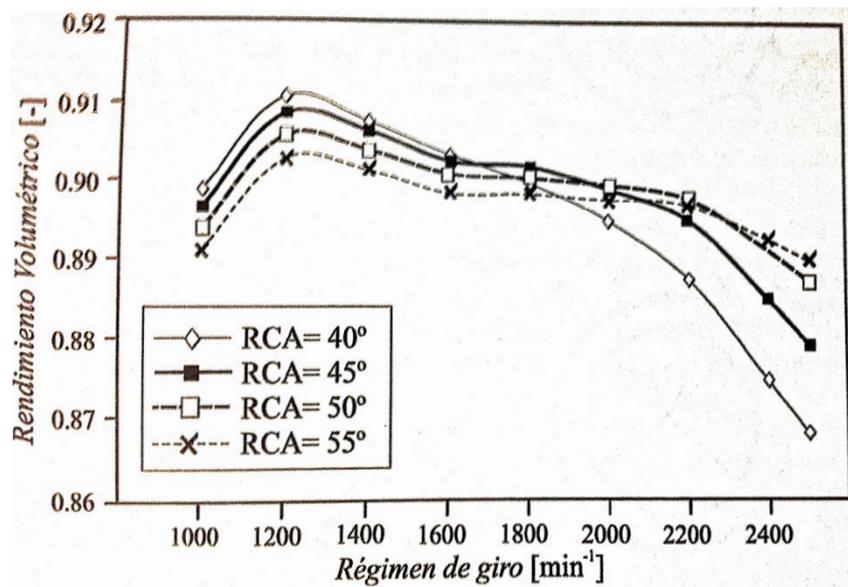


FIGURA 1.12: RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO

El objeto de este trabajo va a tratar de la forma y los sistemas que permitirán resolver este problema, y que el diagrama de distribución siempre sea óptimo sea cual sea el régimen de giro del motor y el grado de carga, además de esto, se verá la oportunidad de quitar la válvula de mariposa de gases en los motores de gasolina.

2. Sistema de distribución convencional.

Se entiende por mecanismo de distribución, el conjunto de elementos mecánicos que producen la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape de los MCI.

Este mecanismo tiene una influencia determinante sobre el proceso de renovación de la carga del motor, puesto que su actuación gobierna los instantes y características de la comunicación del cilindro con los colectores de admisión y escape. El mecanismo de distribución permite cumplimentar los diagramas de fases definidos para la apertura y cierre de cada una de las válvulas.

Los elementos que constituyen la distribución son los siguientes:

- Válvulas
- Levas
- Empujadores
- Balancines
- Resortes
- Sistema de transmisión
- Varillas (En el sistema de árbol de levas en bloque motor)

En la figura se puede observar un esquema básico del sistema de distribución, en el que se hará una breve explicación.

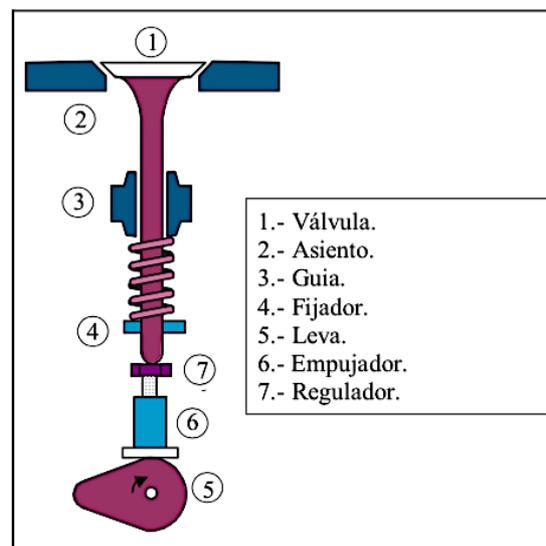


FIGURA 2.1: ESQUEMA BÁSICO SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La válvula está compuesta por, la cabeza, que sirve para cerrar el orificio de paso de los gases, y el 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 contra cono que asegura la hermeticidad.

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. Ésta es accionada por su eje, llamado *árbol de levas*, el cual recibe el movimiento desde el cigüeñal.

A lo largo de la historia de los MCIAs, se han utilizado diferentes y muy variados esquemas de accionamiento. Sin embargo, en atención a la posición de las válvulas y a la del árbol de levas, es posible efectuar una clasificación de dichos sistemas en 3 grupos:

- Levas y válvulas laterales (SV)
- Árbol de levas en bloque o lateral (OHV).
- Árbol o árboles de levas dispuestos en la culata (OHC).

El sistema SV es el tipo de distribución que tiene las levas y válvulas situadas al lado del cilindro.

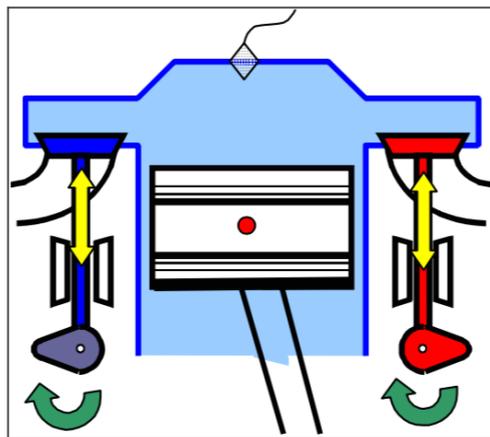


FIGURA 2.2: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SV

El 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, requiere un excesivo volumen de la cámara de combustión, lo que origina bajas relaciones de combustión, 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.

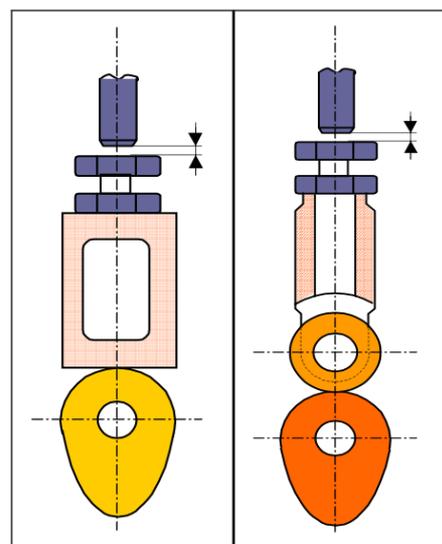


FIGURA 2.3: MECANISMO DE EMPUJE DEL SISTEMA SV

Comparando las dos disposiciones restantes mencionadas, en cuanto a la situación del árbol de levas, se observa claramente que las configuraciones que sitúan el árbol de levas lateral (OHV) y válvulas en culata (OHC) tienen, en general, mayor número de elementos, siendo la cadena cinemática más larga. El sistema OHV en concreto, su configuración es más sensible a las dilataciones, a la vez que fuerza fenómenos de inercia más acusados. Como elementos de enlace entre las levas y las válvulas emplean un sistema de empujadores y balancines. Debido a este tipo de accionamiento la cámara de combustión se diseña en modo cuña, por tanto la bujía (en los motores de ciclo Otto) estará situada en un lateral, siendo el recorrido de la llama más larga y perdiendo de esta forma rendimiento térmico. Además con este tipo de cámara es muy probable que aparezca el fenómeno de la autodetonación, fenómeno perjudicial para los motores ya que la mezcla explota sin el accionamiento de la bujía con lo cual se realiza una explosión no controlada. Este fenómeno también se conoce como picado de biela.

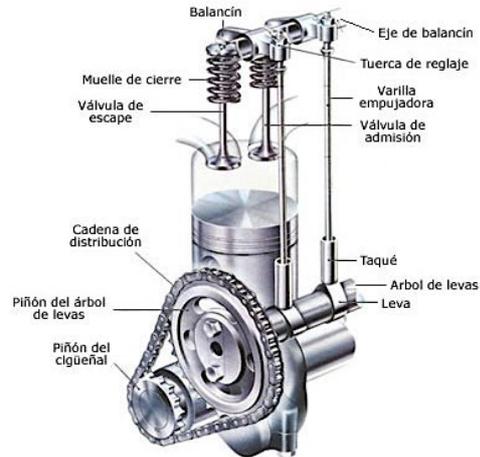


FIGURA 2.4: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN OHV

Las configuraciones con el árbol de levas en cabeza **OHC** presentan no obstante, problemas de diversa índole. En este sistema su accionamiento es más conflictivo, debido a la lejanía de este árbol con el cigüeñal del motor que es el encargado de arrastrar mecánicamente al árbol o árboles de levas. De igual manera, la lubricación del mismo se realiza con mayor dificultad.

En los motores con culatas partidas no es posible la disposición **OHC** debido a las posibles desalineaciones que puedan aparecer entre cada uno de los múltiples árboles de levas que es necesario disponer.

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 que trabajen con revoluciones por minuto altas.

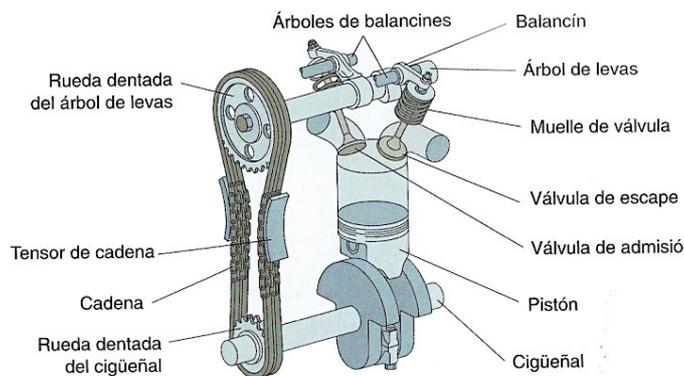


FIGURA 2.5: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN OHC

Se procede en lo que sigue a detallar las características de cada uno de los elementos que componen el sistema de distribución.

2.1 Árbol de levas:



Los árboles de levas son elementos esbeltos que, como su nombre indica, contienen las levas encargadas de gobernar la apertura y cierre de las válvulas de admisión y de escape en el motor.

El árbol de levas se fabrica por fundición en un molde, una vez mecanizado se le somete a un tratamiento de temple, gracias al cual adquiere gran dureza. Posteriormente se mecanizan los perfiles exactos de las levas así como los apoyos del árbol.

FIGURA 2.6: ÁRBOL DE LEVAS

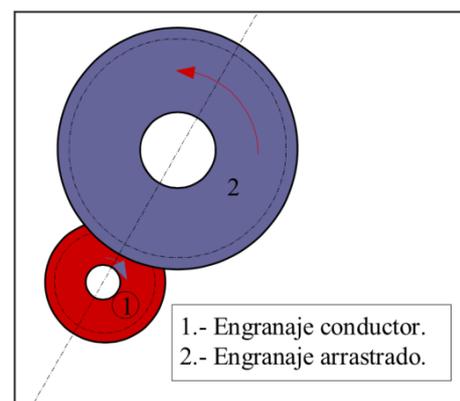
Las dimensiones del árbol de levas se deben diseñar teniendo en cuenta que durante su funcionamiento tiene que accionar las válvulas y además mover otros órganos auxiliares del motor. Es por lo que conviene darle un mayor tamaño que el estrictamente necesario, ya que la transmisión se realiza desde uno 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 2.7: TRANSMISIÓN PARA DISTANCIA CORTA (ENGRANAJES)



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

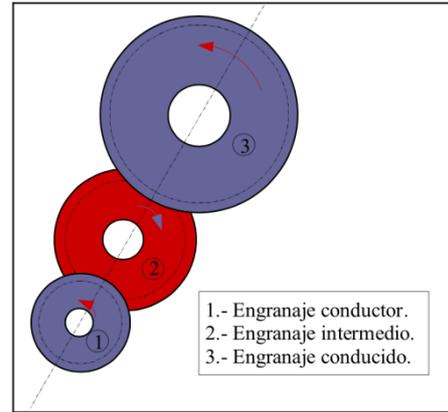


FIGURA 2.8: TRANSMISIÓN PARA DISTANCIA MEDIA (ENGRANAJES)

- 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 de la distribución y el aumento del nivel de ruido que producen el inevitable alargamiento de la cadena tras periodos prolongados de funcionamiento.

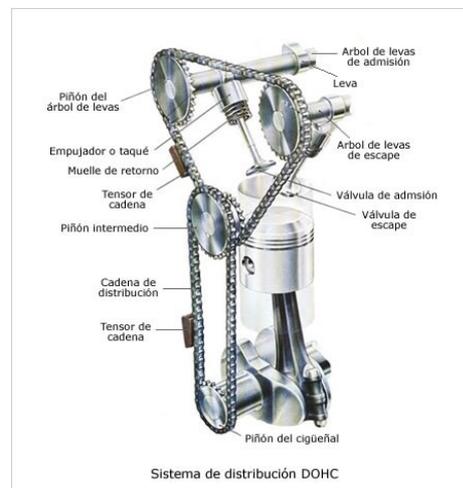


FIGURA 2.9: TRANSMISIÓN PARA DISTANCIA LARGA (CADENA)

- 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 mantenimiento. Para facilitar el cambio de la correa cuando se produce el desgaste de la misma los piñones conductor y conducido van montados en el exterior del bloque.

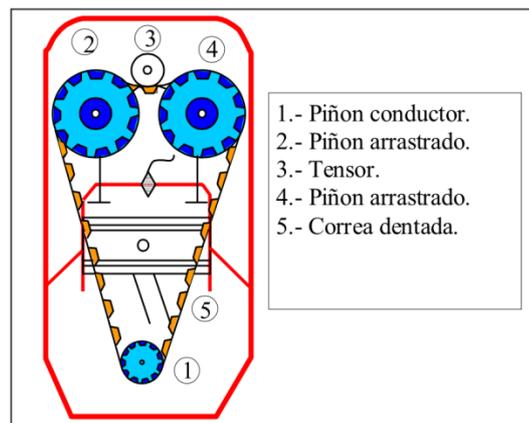


FIGURA 2.10: TRANSMISIÓN PARA DISTANCIA LARGA (CORREA)

2.2 Válvulas

Las válvulas, tienen la misión de abrir y cerrar los orificios de entrada y salida de los 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 asentarse en la culata se consiga un cierre hermético.

La cabeza lleva un vástago o cola perfectamente cilíndrico, gracias al cual toda la pieza se refrigera y se desplaza alternativamente dentro de las guías. En su extremo lleva un rebaje para soportar el sistema de cierre de la válvula sobre la culata.

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.

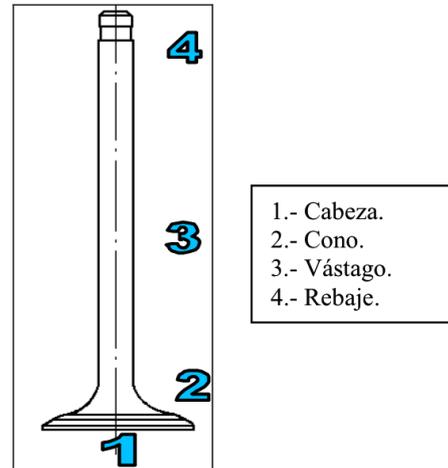


FIGURA 2.11: PARTES DE UNA VÁLVULA

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

Para las válvulas de escape se emplean aceros con cromo, níquel, tungsteno y silicio, aleaciones que además de ser muy resistentes al calor y a la corrosión, tienen una elevada resistencia. Además, para evitar el desgaste del vástago se le 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 cromo, 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, posteriormente se utilizó la técnica denominada multiválvulas, con lo que se aumenta el rendimiento volumétrico y se consigue una mejor refrigeración.

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

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

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:

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

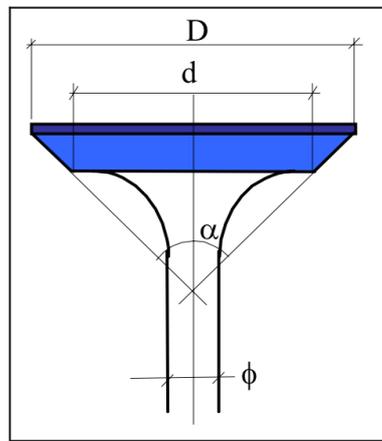


FIGURA 2.12: DIMENSIONES DE LA VÁLVULA

El ángulo de asiento α más generalizado es el de 45° , aunque en algunos motores se usan 30° 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 las fórmulas expuestas en la figura anterior:

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.

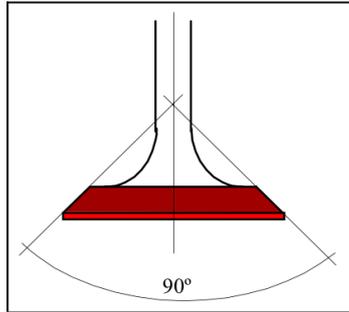


FIGURA 2.13: VÁLVULA DE CABEZA PLANA

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

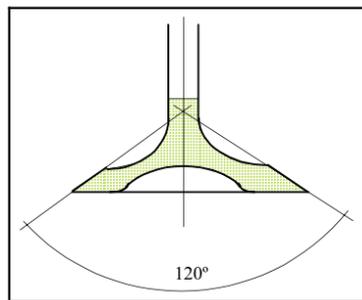


FIGURA 2.14: VÁLVULA DE TULIPA

- 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.

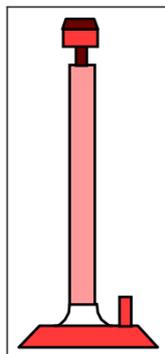


FIGURA 2.15: VÁLVULA CON DEFLECTOR

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:

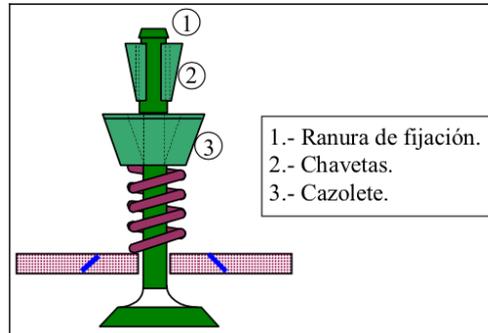


FIGURA 2.16: MONTAJE DE LA VÁLVULA Y DESPIECE DE SUS COMPONENTES

La apertura de las válvulas puede hacerse por un solo árbol de levas, o por dos, uno para las válvulas de escape y otro para las de admisión, 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:

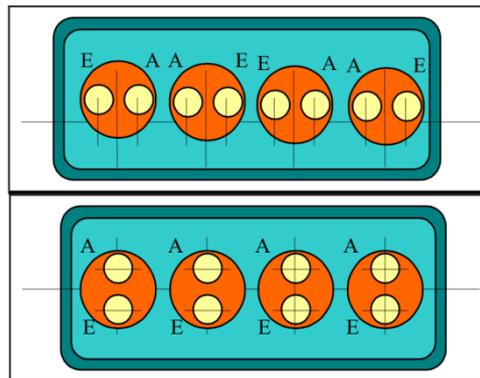


FIGURA 2.17: DISPOSICIÓN DE LAS VÁLVULAS

La culata no puede soportar los impactos que se producen durante el funcionamiento de las válvulas, para solucionar este inconveniente, 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 mediante el proceso de nitruración.

En el montaje de estas piezas se efectúa calentando el alojamiento de la culata donde va situado el asiento, por otro lado, los asientos de las válvulas se mantienen en un baño de hielo seco para su contracción. Una vez colocados los asientos en su alojamiento, 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. 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 autolubrificantes.

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

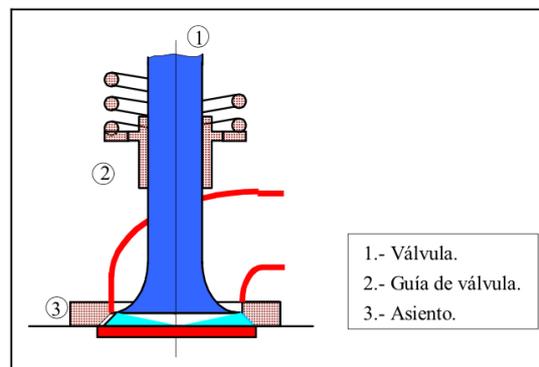


FIGURA 2.18: ASIENTO Y GUIA DE LA VÁLVULA

2.2.1 Muelles de las válvulas

Para mantener asentada la válvula contra su asiento se utilizan los denominados muelles de válvulas. Estos soportan los esfuerzos necesarios para abrir y cerrar las válvulas, además tienen una frecuencia variable con el régimen de giro del motor. En las frecuencias próximas a su naturaleza de vibración (resonancia del material), se producen unos rebotes de forma que, cuando por el efecto del muelle la válvula se va cerrando, por culpa de dichas perturbaciones la válvula se vuelve a abrir, por 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.

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

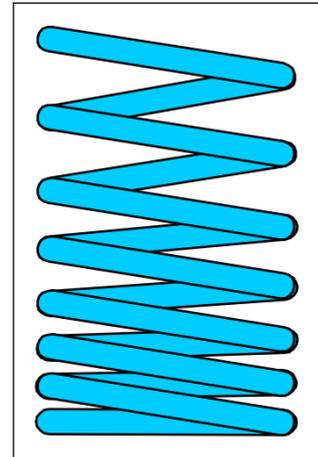


FIGURA 2.19: MUELLE DE VÁLVULAS

2.2.2 Válvulas múltiples

Desde hace unas décadas, es habitual el aumento del número de válvulas por cilindro de un diámetro más reducido. Para una culata dada, con una disposición de válvulas múltiples se consigue una relación superficie de válvulas/superficie del pistón mayor, lo cual favorece los procesos de admisión y escape.

Además de esta mayor permeabilidad al paso del fluido, existen otras razones importantes para la adopción de válvulas múltiples como son:

- Disminución de tensiones térmicas, debido al menor tamaño de las mismas.
- Esfuerzos mecánicos menores, como consecuencia de tener un peso menor.
- Disminución de la temperatura media de la válvula, debido a que se dispone relativamente de una mayor sección, para disipar el calor a través de su asiento.
- El uso de válvulas múltiples favorece la simetría de la cámara de combustión al liberar la parte central de la culata donde puede situarse el inyector o la bujía.

El caso típico de un sistema multiválvulas es de 4 válvulas por cilindro, aunque existen las de 3 y 5 válvulas por cilindro.

2.2.3 Refrigeración de válvulas

Los problemas principales en cuanto a refrigeración afectan a la válvula de escape, dadas las altas condiciones térmicas del gas que atraviesa el conducto. Las válvulas de admisión también trabajan a temperaturas elevadas, pero cuentan con una refrigeración importante producida por los gases de admisión, de forma que con un diseño estructural adecuado, no plantean problemas térmicos.

En la figura siguiente nos indica las temperaturas que se alcanzan en válvulas de escape.

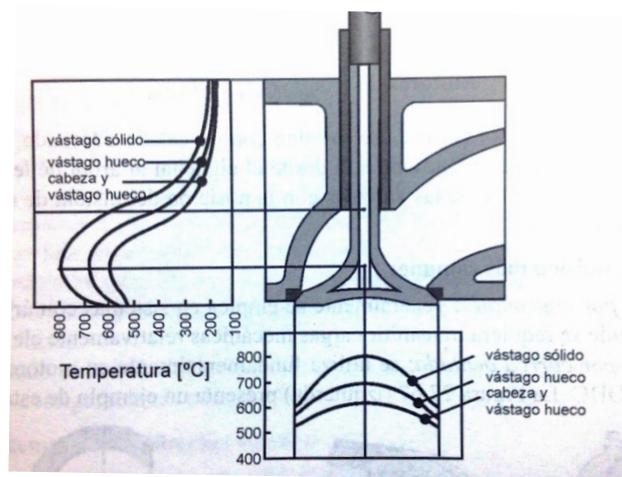


FIGURA 2.20: RANGO DE TEMPERATURAS EN LA VÁLVULA DE ESCAPE

La superficie de la válvula que recibe calor (cabeza de válvula) es mucho mayor que la superficie que lo cede (asiento y vástago). Por otra parte, la temperatura de los gases a su paso por la válvula de escape es mayor que en cualquier otro punto del motor. Si a esto le añadimos que la velocidad de los gases de escape es elevada, o lo que es lo mismo el número de Reynolds es elevado, el coeficiente de película también lo es, lo que implica que la válvula de escape sea uno de los puntos más cargados térmicamente del motor.

Según algunos autores, el 75% del calor evacuado por la válvula de escape se produce a través del asiento, siendo el 25% restante evacuado por el vástago y el pie de válvula. Es por ello muy importante aumentar la superficie de contacto de la válvula con la culata. Otra consideración importante es la utilización de materiales que mantengan sus propiedades mecánicas a altas temperaturas. Así, mientras las válvulas de admisión se construyen con aceros al carbono o aleados al cromo-níquel en bajas proporciones, las válvulas de escape son de acero cromo-níquel, que mantiene sus propiedades mecánicas y físicas hasta los 1000°C.

Los problemas planteados en la refrigeración de las válvulas crecen con su tamaño. En válvulas con diámetro mayor de 50mm o incluso más pequeñas, pero sometidas a condiciones de funcionamiento severas, puede resultar necesaria una refrigeración interna. La válvula en este caso es hueca, y en el espacio interior está relleno

parcialmente con sodio, que se licúa cuando la válvula alcanza cierta temperatura. En el movimiento alternativo de la válvula el sodio se desplaza por la cavidad tomando calor de la cabeza y cediéndolo al vástago. Esta es una solución que permite reducir la temperatura media de funcionamiento entre 100-200°C.

2.3 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 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.

Para realizar la apertura y el cierre de las válvulas gradualmente, 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 2 flancos que corresponde con la fase de máxima apertura.

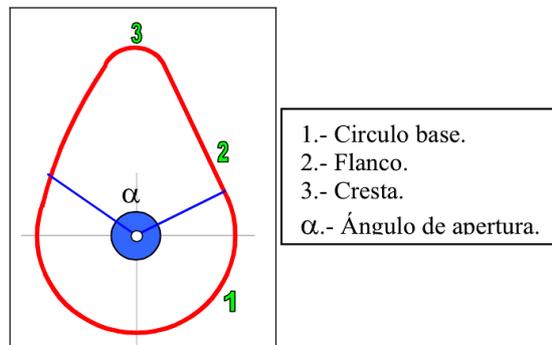


FIGURA 2.21: PARTES DE UNA LEVA

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. La válvula comenzará a cerrarse durante el segundo flanco y terminará el recorrido cerrando 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.

Para que las válvulas siempre asienten con firmeza, y para permitir las dilataciones y desgastes que aparecen, es preciso que exista un juego en el mecanismo.

Para evitar esfuerzos bruscos al entrar en contacto la leva con su seguidor o bien la válvula con el balancín, los juegos indicados deben absorberse mediante la rampa de velocidad constante nombrado anteriormente como flanco. Estos esfuerzos son difíciles de predecir, por lo que normalmente se recurre a velocidades de rampa que la experiencia haya confirmado como tolerables. Al final de la rampa el perfil de la leva debe ser tal que la válvula sufra un rápido levantamiento. La velocidad y aceleración de este levantamiento será función de la geometría del perfil.

Finalmente, después de la etapa de aceleración, el muelle debe decelerar la válvula hasta velocidad nula, para moverla a continuación en sentido negativo, siempre siguiendo la geometría de la leva.

Evidentemente, si la deceleración es muy brusca puede producirse una falta de contacto entre las piezas, perdiéndose así la continuidad de la cadena cinemática.

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.

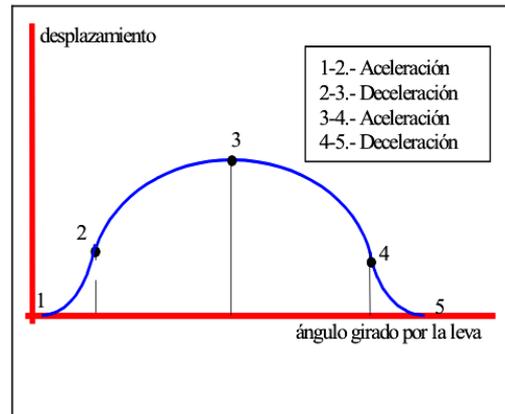


FIGURA 2.22: DIAGRAMA DE ALZADO

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 el árbol de levas.

2.4 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 basculares y en el segundo balancines oscilantes.

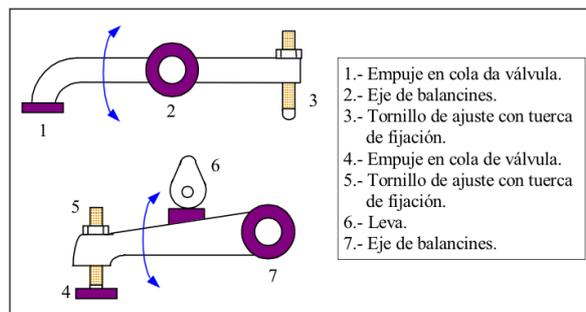


FIGURA 2.23: TIPOS DE BALANCINES

- 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 por 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.

2.5 Empujador

El movimiento de la leva es transmitido al balancín mediante el empujador y la varilla empujadora.

Entre el empujador y la leva hay un movimiento relativo de deslizamiento, por lo que es necesario el engrase. En ocasiones, el empujador está dotado de un rodillo para evitar fricciones. El inevitable desgaste que pueda producirse en el sistema debe tener lugar en el empujador, puesto que si se produce en la leva ésta variará su perfil, y por tanto el diagrama de distribución del motor. Por otro lado, la varilla empujadora debe tener un diámetro suficiente y una longitud lo menor posible para evitar el fenómeno del pandeo, así como excesivas dilataciones térmicas.

Entre el balancín y la válvula se suele disponer un juego que varía en un rango de (0,1-0,4) mm, conocido como juego de taqués, que debe ser ajustado en el montaje del motor y en las operaciones de mantenimiento. Existen otros tipos de sistemas para absorber este juego con un funcionamiento más silencioso como son los taqués hidráulicos. Se indican a continuación las características de estos taqués.

2.6 Taqué hidráulico

Este sistema de taqués consiste en intercalar en la cadena cinemática de la distribución un mecanismo hidráulico que anula el juego entre el taqué y la válvula en todo momento y de forma automática. La adopción de taqués hidráulicos permite reducir el ruido de la distribución al eliminar los golpes que se producen cuando se absorbe el juego de taqués del sistema clásico.

Esencialmente, el taqué hidráulico está compuesto por una camisa móvil accionada por la leva y un pistón que puede moverse dentro de la camisa, dejando una cámara intermedia de aceite, siendo este pistón el encargado de accionar el resto de la cadena cinemática hasta la válvula.

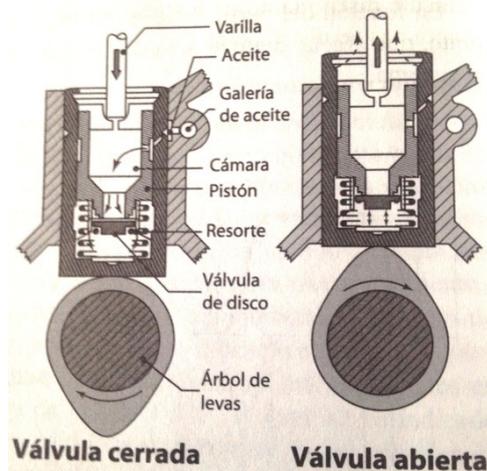


FIGURA 2.24: ESQUEMA DE UNA TAQUÉ HIDRÁULICO

El aceite con el que se llena la cámara del taqué es suministrado por la bomba de lubricación del motor. Con el fin de permitir que el aceite entre en la camisa del taqué y permanezca en ella, está dispone de una válvula unidireccional que suele ser de bola o de disco. De esta forma, la cámara se llena con la cantidad de aceite suficiente para eliminar el juego de los elementos que constituyen el taqué. Este sistema elimina las operaciones de mantenimiento, salvo el cambio de los taqués, necesario únicamente ante posibles disyunciones del sistema, producidas por el envejecimiento de los elementos.

3. Mejoras del sistema

La determinación de los parámetros del diagrama de distribución de los motores alternativos, responde a diferentes aspectos particulares de dichos motores. Estos parámetros se establecen, no sólo en atención a prestaciones (potencia, rendimiento, etc...) y emisiones de sustancias contaminantes, sino que también tienen en cuenta otros aspectos como la fiabilidad y durabilidad de las distintas partes del motor, y el ruido producido por el mismo.

Como se vio en el tema 1, la selección de unos determinados parámetros de distribución mediante los que se consiga una optimización del funcionamiento del motor en unas determinadas condiciones, no asegura su correcto funcionamiento en condiciones diferentes.

En este sentido se han desarrollado los conocidos sistemas de distribución variable mediante los cuales es posible adaptar los parámetros del diagrama de distribución a cada condición operativa del motor, consiguiendo un funcionamiento más optimizado en un extenso rango de condiciones operativas.

Los primeros sistemas de distribución variable consistían en la desactivación de algunas de las válvulas de un motor multiválvulas a bajo régimen de giro y/o carga.

De esta manera se reduce la sección efectiva disponible en situaciones en las que hay reflujos importantes por la falta de inercia en la corriente de gases, es posible ajustar cada uno de los ángulos de manera independiente al valor deseado.

Un segundo tipo de sistemas de distribución variable permite modificar el calado angular de las levas. De esta manera se pueden modificar los eventos de apertura y cierre de una válvula. La limitación de este sistema es que apertura y cierre se mueven en el mismo sentido por lo que se tiene que elegir uno de ellos para optimizar.

En los últimos tiempos están apareciendo sistemas que permiten modificar de forma independiente los cuatro eventos del diagrama de distribución así como el levantamiento máximo.

De esta manera se puede optimizar para cada punto de funcionamiento la estrategia de la distribución.

En la Figura se muestran distintas estrategias de levantamiento de la válvula de admisión en función del punto de funcionamiento para un MEP de automoción:

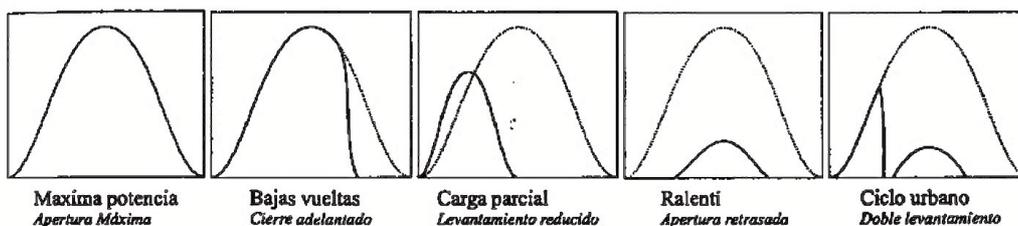


FIGURA 3.1: DIVERSAS ESTRATEGIAS DE LEVANTAMIENTO DE LA VÁLVULA DE ADMISIÓN.

- Para el punto de máxima potencia se utiliza toda la sección efectiva disponible.
- A plena carga y bajas vueltas se adelanta el cierre de la válvula para evitar reflujos al final del proceso de admisión.
- En el caso de carga parcial, se debe regular el levantamiento máximo y el cierre de la válvula en función del nivel de carga. Al hacer este tipo de estrategia se puede eliminar, al menos parcialmente, la estrangulación que se realiza en la mariposa de admisión para el control de la carga. Esto se traduce en una reducción importante del trabajo de bombeo del consumo de combustible del motor.
- A ralentí se reduce el levantamiento máximo de la válvula, se retrasa la apertura y se adelanta el cierre. Como en el caso anterior se hace el control de la carga mediante la apertura controlada de la válvula de admisión.
- En el ciclo urbano se hace un doble levantamiento de la válvula, que permite realizar a la vez el control de la carga y la optimización de la combustión para la reducción de las emisiones contaminantes.

3.1 Tipología de sistemas de distribución variable.

En la actualidad, se pueden encontrar diferentes configuraciones de sistemas de distribución variable.

En atención al cambio que producen en las leyes de levantamiento de las válvulas sobre las que actúan, pueden encontrarse los siguientes tipos:

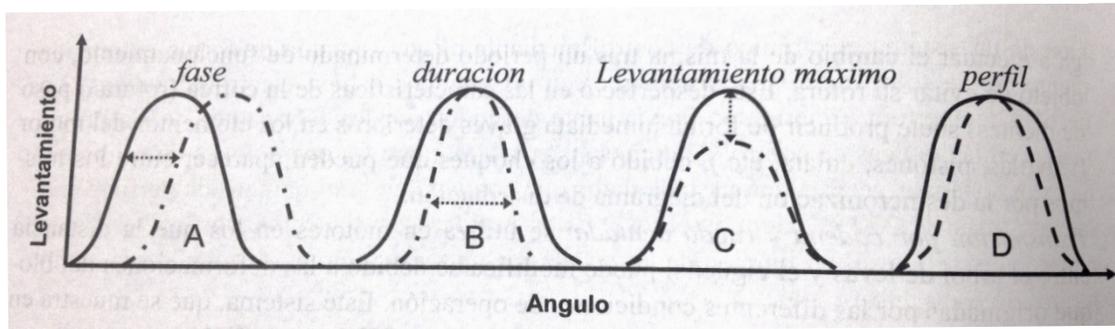


FIGURA 3.2: POSIBILIDADES DE MODIFICACIÓN DE PERFILES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN VARIABLE

- Modificación de la fase a perfil constante (A).
- Modificación de la duración a levantamiento máximo constante (B).
- Modificación del levantamiento a igual duración y fase (C).
- Modificación del perfil manteniendo el levantamiento máximo, la duración y la fase (D).

Junto con las tipologías anteriores, pueden encontrarse así mismo sistemas que combinan varias de ellas.

Las modificaciones en las leyes de levantamiento pueden producirse, bien de forma continua (infinitas configuraciones de variación de perfil entre dos situaciones extremas), o bien de forma discreta (únicamente dos o tres posibles configuraciones a lo sumo).

Para producir las modificaciones deseadas en los elementos del sistema, se utilizan sistemas de diversa índole. Por un lado aparecen aquellos que disponen de una actuación puramente mecánica (aprovechamiento de inercias). Existen asimismo sistemas con actuación eléctrica (motores eléctricos y bobinas de inducción) o electrohidráulica.

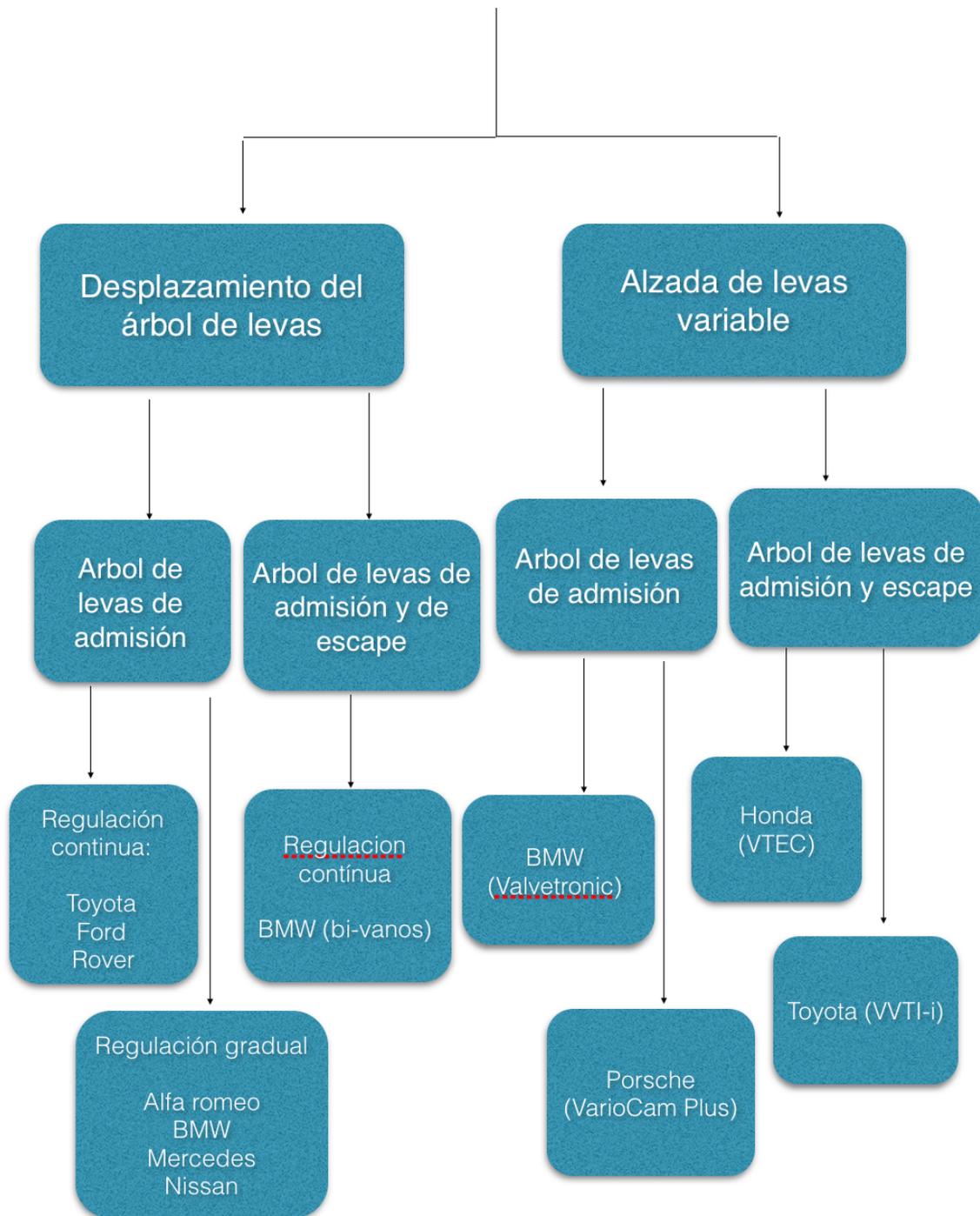
- Sistemas tipo A. Desfasadores:

En todos ellos la actuación se efectúa mediante el suministro de aceite a presión al sistema. La fuerza correspondiente produce un desfase entre el mecanismo de arrastre y el propio árbol de levas. Se produce así un cambio en la fase del diagrama de apertura y cierre, con infinitas configuraciones intermedias entre las dos situaciones extremas de la actuación. En general, la posición de los elementos y, en consecuencia, el desfase producido se controla en bucle cerrado mediante el registro de la posición relativa de los elementos del sistema (piñón de arrastre y eje de levas). La central electrónica de control, envía una actuación sobre la válvula de regulación de la presión de actuación, para producir el desfase deseado en cada caso.

- Sistemas tipo (B + C):

En estos sistemas se interpone una determinada pieza entre el árbol de levas y la válvula correspondiente. La posición de dicha pieza puede ser modificada mediante un determinado mecanismo, de forma que los perfiles de apertura y cierre de las válvulas pueden modificarse, en función de la posición que adopta el citado elemento intermedio. Estos mecanismos modifican de forma conjunta tanto el levantamiento máximo como la duración de este.

4. Clasificación de los sistemas de distribución variable



4.1 Desplazamiento del árbol de levas. Convertidores de fase.

Convertidores de fase, los hay de varios tipos, pero el más utilizado es el que controla la admisión variando la posición angular del árbol de levas respecto al engranaje que lo arrastra. Esta variación se controla a través de un accionador electromagnético comandado por la ECU del motor, de forma que la presión del aceite en el mecanismo variador de fase permite ese desacoplamiento de unos grados en el árbol.

Los perfiles de las levas (alzada) propiamente dichos y, con ello, también la carrera de la válvula no se modifican.

Para un rendimiento eficaz de este sistema basta con modificar los tiempos de distribución de las válvulas de admisión.

Los ensayos realizados han demostrado que una modificación de los tiempos de distribución de las válvulas de escape no aporta una mejora significativa.

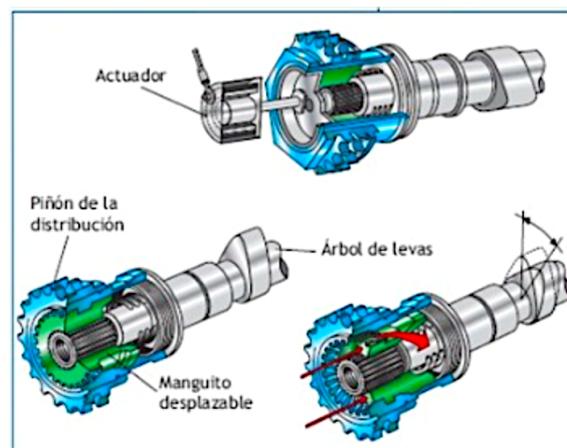


FIGURA 4.1: PARTES DEL SISTEMA

La utilización de convertidores de fase, normalmente, solo se hace en motores con dos árboles de levas en cabeza (DOCH), tal y como los encontramos en motores multiválvulas.

Sin embargo. La primera regulación de árboles de este tipo, fabricada en serie, se introdujo en un motor de 2 válvulas por cilindro de Alfa Romeo en 1987 en el modelo Twin Spark de 2,0 litros, el cual también dispone de 2 árboles de levas en cabeza. Este motor gracias al convertidor de fase y a un doble encendido, era capaz de aportar una potencia de 150 CV que, normalmente, solo los alcanzan motores multiválvulas y, por tanto, demuestra como a pesar de usar un motor de 2 válvulas se consiguen unos valores de potencia elevados.

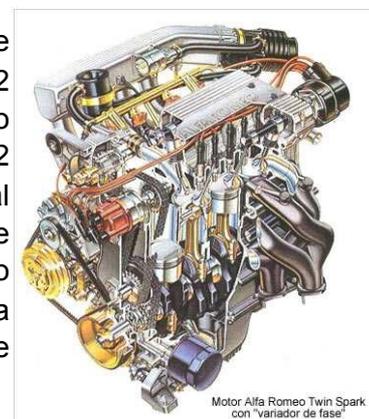


FIGURA 4.2: MOTOR ALFA ROMEO TWIN SPARK CON VARIADOR DE FASE

El elemento más importante del "convertidor de fase" es el actuador electro-hidráulico acoplado al engranaje que arrastra en rotación al árbol de levas de las válvulas de admisión.

Este actuador permite dar al mismo árbol dos posiciones angulares diversas y, por lo tanto, variar los tiempos de apertura de las válvulas de admisión.

Su regulación está dirigida por el microprocesador del sistema electrónico de gestión del motor y que en este caso es la centralita que gestiona tanto el sistema de inyección como de encendido de la chispa de las bujías. (BOSCH Motronic)

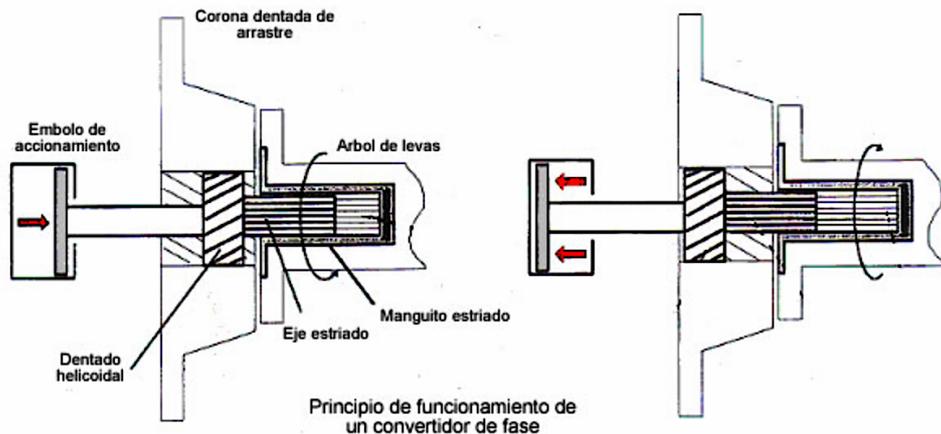


FIGURA 4.3: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR DE FASE

En el convertidor de fase normalmente se regula hacia adelante o hacia atrás el árbol de levas de admisión durante el funcionamiento alrededor de 20° a 40° de desfase si tomamos como referencia al cigüeñal.

Con ello, se van a modificar los siguientes parámetros del diagrama de distribución.

- El cruce de válvulas.
- El inicio de la apertura de admisión.
- El fin del cierre de la válvula de admisión.

Estos parámetros tienen una influencia esencial sobre la potencia y el par motor, pero también sobre la calidad de la marcha en vacío, del comportamiento de los gases de escape y del consumo.

Vamos a explicar el funcionamiento del sistema tomando el ejemplo del motor V6 de 24 válvulas de Mercedes.

- En la marcha en vacío, el árbol de levas de admisión está atrasado, lo cual da como resultado una calidad elevada de la marcha en vacío y un buen comportamiento de respuesta.
- Como muy tarde a 2000 r.p.m. se produce la posición adelantada del árbol de levas de admisión a 34° del ángulo de calado respecto al cigüeñal, para conseguir el incremento deseado del par motor.
- Algo por encima de 5000 r.p.m. se produce la posición atrasada del árbol de levas

de admisión, para mantener la potencia elevada hasta el régimen de revoluciones máximo (7000).

La desventaja que muestran los convertidores de fase es que los perfiles de levas y, por tanto, las curvas de elevación de las válvulas se mantienen.

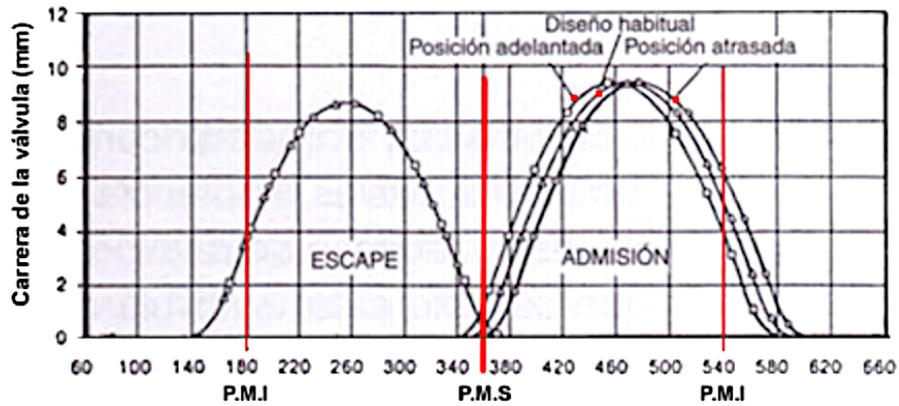


FIGURA 4.4: GRÁFICA DE TIEMPOS DE DISTRIBUCIÓN DE UN CONVERTIDOR DE FASE

4.2 Sistema VANOS

Este sistema no deja de ser un convertidor de fase aunque tenga una denominación distinta. VANOS son las siglas de Variable Nockenwellen Steuerung (separación variable del árbol de levas) que es un sistema de distribución variable empleado por la marca BMW. Consiste en desplazar el calado del árbol de levas utilizando la presión del aceite del sistema de engrase. El sistema aumenta el cruce de válvulas cuando el motor gira a altas revoluciones. El adelanto o retraso del árbol de levas con respecto al cigüeñal dependerá de las condiciones de funcionamiento del motor (grado de carga, régimen de giro del cigüeñal y temperatura).

Por medio de una gestión electrónica del motor y con la ayuda de un electroimán se conecta una válvula distribuidora 4-2 (4 vías, 2 posiciones). Esta válvula se trata de un pistón hidráulico el cual admite alternativamente presión del aceite del motor y se mantiene en sus dos posiciones posibles por medio de topes mecánicos. En el pistón se encuentra un eje dentado montado sobre rodamientos de baja fricción, que transforma la carrera del pistón por medio de un dentado helicoidal en un giro del árbol de levas. El margen de ajuste es de 25° del ángulo de calado con respecto al cigüeñal. Esta medida tiene, ante todo una ventaja con respecto a la calidad en marcha en vacío.

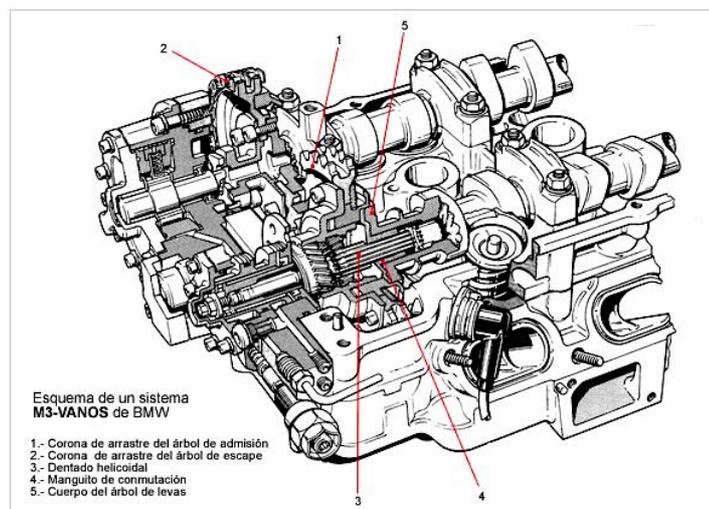


FIGURA 4.5: ESQUEMA M3-VANOS DE BMW

Un sistema más complejo utilizado por BMW para motores de 3 litros de cilindrada, es el que permite cualquier posición intermedia del árbol de levas de admisión dentro de un ámbito total de regulación de 42°.

El sistema de accionamiento utiliza el aceite a presión para su funcionamiento, cuenta con un sistema propio que trabaja con una presión de 100 bar y también dispone de un depósito de aceite. La bomba de aceite de alta presión está integrada en la unidad de regulación y se acciona por medio del árbol de levas de escape. Para poder ejercer el movimiento del pistón regulador es necesario una presión elevada de aceite en el sistema, este pistón es el que realiza la torsión de la rueda dentada del árbol de levas de admisión por medio de un dentado helicoidal, en cualquier posición intermedia con seguridad.

Para ello se requieren también 2 válvulas de mando electromagnéticas, así como 2 ruedas con marcas para la posición de los árboles de levas con sus correspondientes indicadores de posición. La información necesaria para la regulación procede de un mecanismo de mando propio del motor.

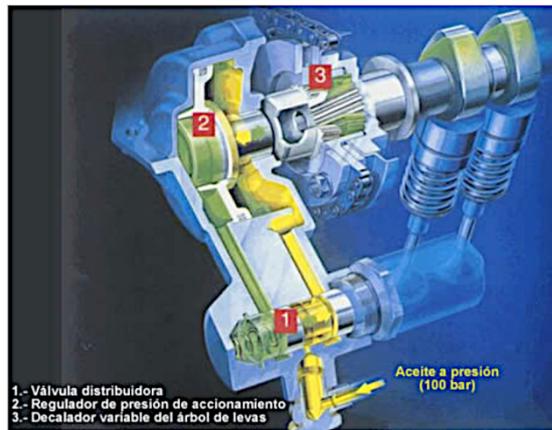


FIGURA 4.6: SISTEMA DE REGULACIÓN DEL SISTEMA VANOS

Con el paso del tiempo BMW incorpora la tecnología del sistema de decalador variable a los dos árboles de levas, es decir, al de admisión y también al de escape. Ambos árboles se regulan dentro de los dos márgenes máximo y mínimo, dentro de estos márgenes hay un campo muy amplio de posiciones de decalajes o lo que es lo mismo, desfase entre árbol de levas y cigueñal, lo que provoca una elevada potencia específica y un desarrollo progresivo del par motor. El sistema VANOS doble o también denominado Bi-VANOS es la denominación que se da al sistema que acabamos de explicar con regulación en ambos árboles de levas (admisión, escape).

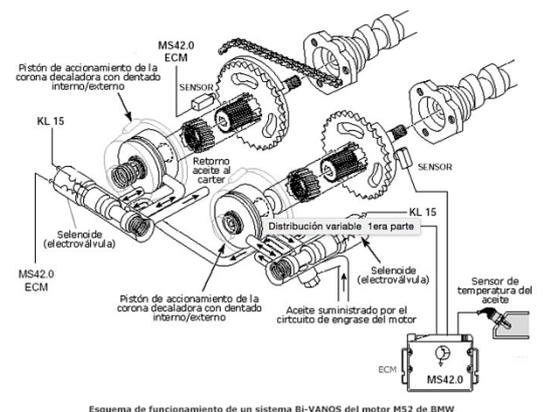


FIGURA 4.7: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BI-VANOS

En la figura siguiente se muestra el esquema de funcionamiento del sistema y un diagrama con los ángulos de decalaje máximos y mínimos.

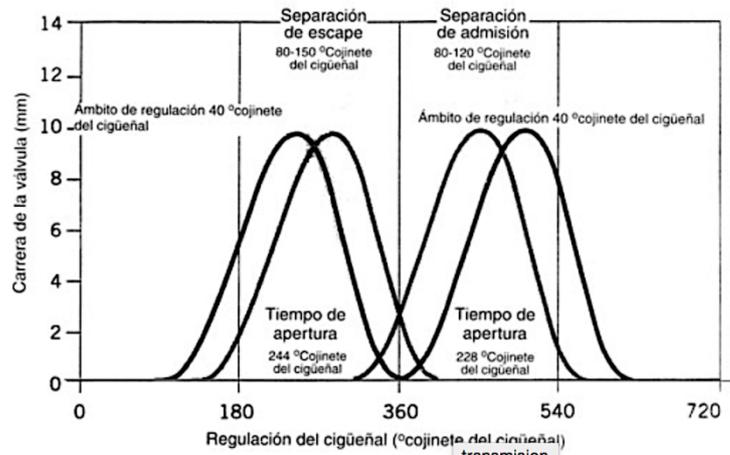


FIGURA 4.8: CURVAS DE APERTURA DE LAS VÁLVULAS PARA UN SISTEMA BI-VANOS

4.3 Variocam de Porsche

Porsche utilizó en sus modelos 968 y en las primeras series del 996 Carrera un sistema (Variocam) para variar los tiempos de distribución. El mecanismo hidráulico es controlado por la unidad electrónica de control. Según el régimen de vueltas del motor la unidad de control le indica al mecanismo hidráulico que actúe, y este en respuesta de ello empuja a los dos patines y abre la cadena que mueve los árboles de levas provocando su desplazamiento y por lo tanto se produce un reajuste de los tiempos de apertura y cierre de las válvulas de admisión. Al reducir el número de vueltas del motor los muelles repliegan el mecanismo de empuje de la cadena a su posición inicial. Este dispositivo se monta sobre una distribución de 4 válvulas por cilindro.

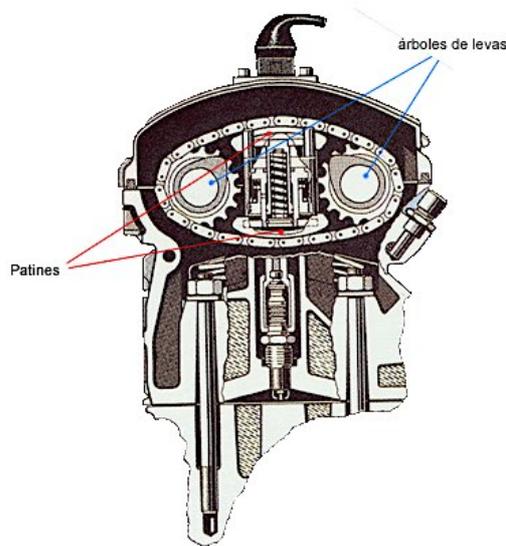


FIGURA 4.9: SISTEMA VARIOCAM

La regulación de la distribución se hace siguiendo unos parámetros:

- Para regímenes inferiores a 1500 rpm, las válvulas de admisión abren 7° después del PMS y cierra 52° después del PMI. Con estos parámetros, el motor funciona con un giro uniforme a bajas rpm, y la emisión gases sin quemar es muy baja debido a que no existe cruce de válvulas.
- Para regímenes comprendidos entre 1500 y 5500 rpm, el árbol de levas de admisión recibe un avance de 9° respecto al de escape. Las válvulas de admisión abren 8° antes del PMS y cierran 37° después del PMI. Con este diagrama se consigue un buen llenado de los cilindros y un aumento del par motor.
- A partir de 5500 rpm, el árbol de admisión vuelve a la posición inicial, es decir, apertura 7° después del PMS y cierra 52° después del PMI. Como vemos esto es una contrariedad, pero es debido a que la alta velocidad de entrada de los gases de la mezcla necesitan un mayor retraso al cierre de admisión. para aprovechar su inercia y lograr que entre más cantidad de mezcla en los cilindros.

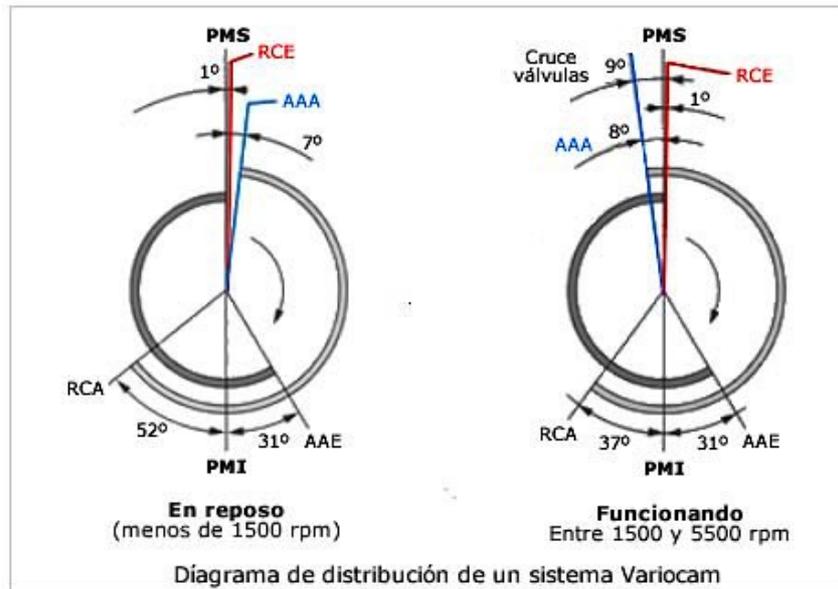


FIGURA 4.10: DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE UN SISTEMA VARIOCAM

Este sistema de distribución cambia el momento en que abren y cierran las válvulas de admisión pero el ángulo total de apertura permanece invariable. Las válvulas de escape cuyos tiempos de distribución permanecen constantes, tienen un adelanto a la apertura de escape (AAE) de 31° y un retraso al cierre de escape (RCE) de 1°.

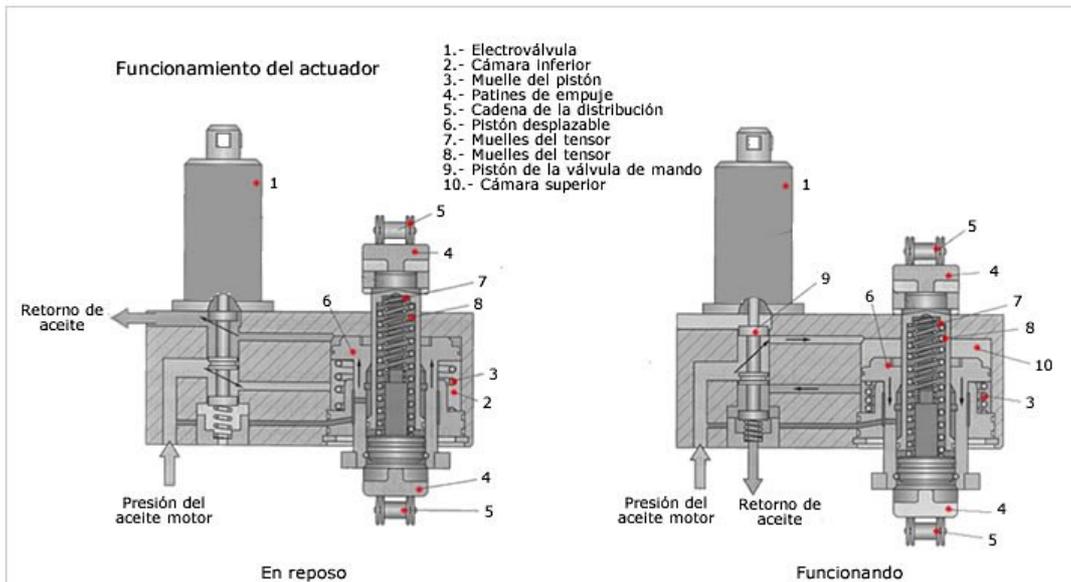


FIGURA 4.11: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

4.4 Sistema VTEC de Honda

Siglas de Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System. Honda presentó en el año 1989 un sistema para la variación de los tiempos de distribución, en el cual no existe como en los anteriores, un decalaje del árbol de levas del admisión. En este sistema, no solo se regula la fase de apertura, sino que también varía el alzado de la válvula.

Para un número de revoluciones medio, los tiempos de apertura más cortos y una carrera de válvula menor elevan la velocidad de gas y, por tanto, también el llenado y el par motor dentro de este margen. Para un número de revoluciones superior, los tiempos de apertura más largos y una carrera de válvula más grande intensifican la respiración del motor, lo cual, a su vez, tiene un efecto sobre la potencia.

El método por el cual puede conseguirse este efecto, requiere para 4 válvulas por cilindro, 6 levas y 6 balancines de palanca. Las levas externas, que están asignadas directamente a las válvulas, tienen perfiles suaves y la leva central tiene los tiempos de distribución más largos y la carrera de la leva más grande. En el régimen de revoluciones bajo, solo están activas las levas externas, mientras que la leva central se acciona, por decirlo de alguna forma, en vacío, es decir, no tiene efecto alguno sobre las válvulas de los balancines de palanca centrales.

Un muelle adicional evita que se pierda el contacto entre la leva y el balancín de palanca. Existen unos pasadores que se desplazan de forma hidráulica y que entre 5000 y 6000 r.p.m. realizan una conexión mecánica entre los 3 balancines de palanca. Desde ese momento es la leva central más grande la que marca los tiempos de apertura, escape y el alzado de la válvula.

La presión de distribución necesaria para el desplazamiento la proporciona el circuito de aceite lubricante del motor. Para que el acoplamiento de los balancines de palanca funcione bien, es necesario que los círculos de base de todas las levas sean igual, de modo que cuando las válvulas estén cerradas los alojamientos y los pasadores estén alineados.

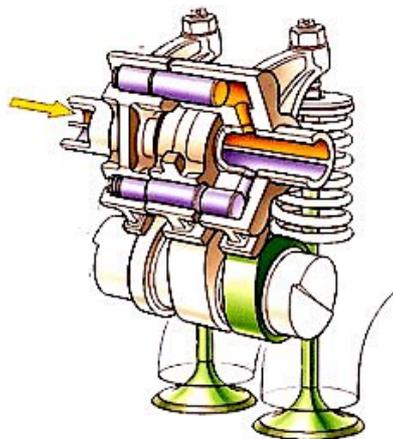


FIGURA 4.12: SISTEMA DE ENCLAVAMIENTO DE LOS BALANCINES

Dependiendo del enclavamiento de los pernos o bulones se pueden obtener los siguientes estados de funcionamiento.

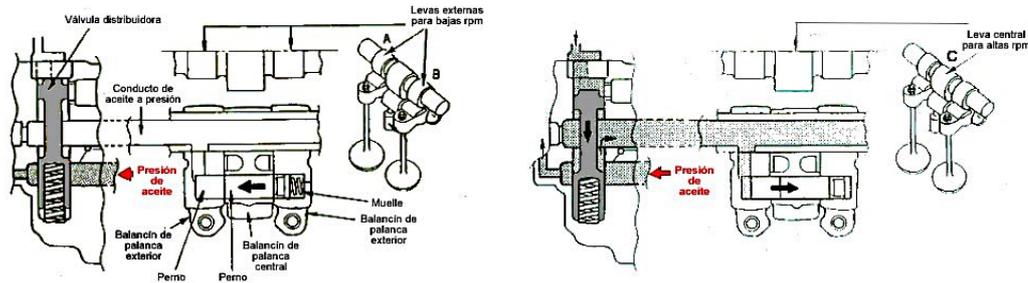


FIGURA 4.13: MODO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA VTEC

Estado 1. Por debajo de las 2500 rpm y con el motor con un grado de carga bajo, los tres bulones están desenclavados con lo que los balancines pueden girar unos con respecto a los otros. El de más a la izquierda está apoyado sobre un anillo mecanizado en el árbol de levas, con lo que la alza de la válvula correspondiente será nula, permaneciendo cerrada. El motor pues, estará funcionando en modo 12 válvulas (3 válvulas por cilindro). El balancín intermedio por no estar enclavado no acciona ninguna válvula.

El balancín de la derecha es accionado por la leva de perfil más suave, accionando su correspondiente válvula, con lo que se obtiene un diagrama de distribución propio de un motor elástico con un rendimiento alto de la combustión.

Estado 2. Al sobrepasar las 2500 rpm o acelerar, se introduce presión al bulón superior, enclavándolo, con lo que los balancines extremos se hacen solidarios. Con ello las dos válvulas de admisión son accionadas por el perfil de leva más suave, funcionando el motor en modo 16 válvulas. El motor opera en este estado desde alrededor de la 2500 rpm hasta las 6000 rpm.

Estado 3. Cuando el motor sobrepasa las 6000 rpm se manda presión de aceite al bulón inferior, haciendo solidarios los tres balancines, con lo que pasan a ser accionados por el perfil de leva de mayor alza. Con ello se consigue una mayor potencia, propia de un motor rápido.

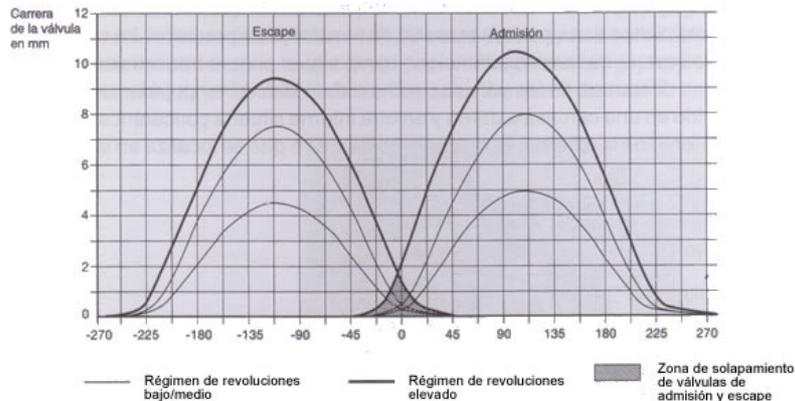


FIGURA 4.14: TIEMPOS DE DISTRIBUCIÓN Y ALZADO DE LA VÁLVULAS

4.5 Sistema VarioCam Plus

Porsche adoptó un sistema de distribución variable cambiando la alzada de las válvulas por medio de empujadores de vaso invertido cambiables. Este sistema lo utilizó por primera vez para el Carrera turbo del año 2000 y, posteriormente, también para los motores por aspiración. Para la marcha en vacío y para una carga reducida son los empujadores de vaso invertido dobles (concéntricos) los que funcionan sobre una leva plana con una carrera de la válvula de solo 3 mm. Si la carga es superior, el sistema cambia a 2 levas más inclinadas con una carrera de válvula de 10 mm. Simultáneamente, la marca Porsche aprovecha la posibilidad de la regulación de fases (variación de los tiempos de distribución) del árbol de levas de admisión (de ahí la palabra -PLUS- de la denominación del sistema), para optimizar la separación y el solapamiento. Porsche utiliza la abreviatura CVCP para el regulador continuo del árbol de levas que funciona con pistones de desplazamiento axial o reguladores equipados con alabes.

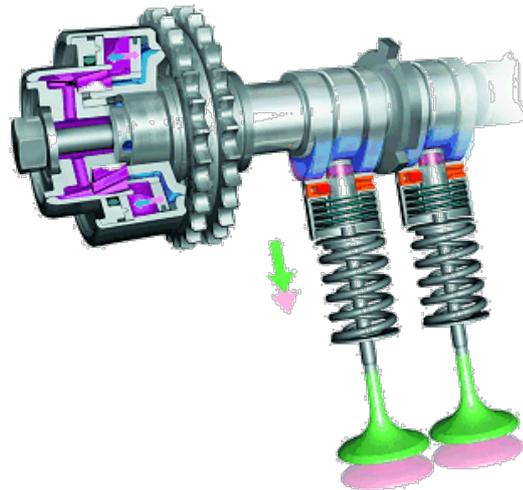


FIGURA 4.15: SISTEMA VARIOCAM PLUS

El sistema de control de la carrera de válvulas consta de empujadores de vaso invertido cambiables controlados por una electroválvula de 3 vías. Los árboles de levas cuentan con levas de diferentes tamaños.

En este sistema la ECU debe controlar, el decalaje provocado del árbol de levas con respecto al cigüeñal y a su vez el alzado de las levas.

Funcionamiento del alzado de las levas:

Carrera pequeña de la válvula: Los empujadores funcionan sin acoplamiento. El empujador interno y la leva central (plana) son determinantes para la carrera. El empujador interno también soporta el elemento para la compensación hidráulica de juego de las válvulas. El empujador externo se mueve con relación al empujador interno y dependiendo de la curva de elevación de la válvula de las dos levas externas (altas). Realiza, por así decirlo, un movimiento en vacío, es decir, no acciona la válvula. Además existe un muelle débil de la carrera del pistón diferenciadora que es el que garantiza el contacto con las levas.

Carrera grande de la válvula: El empujador interno y el empujador externo están acoplados, pero es el empujador externo el que determina la carrera del pistón y el que sigue las curvas de elevación de las 2 levas externas. La disposición doble de las 2 levas altas también sirve para reducir la presión superficial y para evitar el momento basculante.

4.6 Valvetronic de BMW

Una de las causas por las que un motor de ciclo Otto presenta un rendimiento tan desfavorable en comparación con el de uno Diesel, cuando funciona a cargas parciales, es la válvula de mariposa del acelerador.

El mayor inconveniente es que, salvo en las contadas ocasiones en las que esté trabajando a plena carga (acelerador a fondo), el motor tiene que realizar constantemente el esfuerzo suplementario que supone hacer pasar el aire a través de un obstáculo, la propia válvula de mariposa. El efecto es el mismo que succionar con el émbolo de una jeringuilla mientras taponamos parcialmente la punta con un dedo: cuanto más dificultemos la entrada de aire, mayor será el esfuerzo que debemos realizar.



FIGURA 4.16: POSICIONES LAS CUALES PUEDE TENER UNA MARIPOSA DE ADMISIÓN.

Hasta el momento, sólo algunos motores de inyección directa de gasolina podían prescindir de la válvula de mariposa, cuando funcionan con mezcla estratificada. A diferencia de los de carga estequiométrica, en los que la mezcla de aire y combustible ocupa toda la cámara de combustión, en los de carga estratificada la gasolina es confinada en una pequeña región cerca de la bujía en la que la proporción entre combustible y oxígeno es la precisa para que se produzca la combustión. Fuera de esta pequeña zona, se puede introducir tanto aire como se quiera puesto que no participa directamente en la combustión, por lo que no hay necesidad de limitar su entrada mediante la válvula de mariposa. No obstante, los motores de inyección directa de gasolina y mezcla estratificada tienen unas emisiones contaminantes notablemente superiores a los de inyección indirecta.

El sistema Valvetronic de BMW consigue regular la cantidad de aire que participa en la combustión sin la presencia de la válvula de mariposa, con un sistema tradicional de inyección indirecta.

Al tratarse de un motor de inyección indirecta, y por tanto, de mezcla homogénea, el nuevo propulsor de BMW debe limitar de alguna forma el paso del aire cuando trabaja en carga parcial. Lo hace mediante un sistema de distribución variable que, además de controlar el momento de apertura y cierre de las válvulas, puede variar su alzada.

De este modo, la función de regulación de la entrada de aire al motor se traslada desde la válvula de mariposa del acelerador a las propias válvulas de admisión. Cuando el motor ha de entregar su máxima potencia, la alzada de las válvulas es alta

de modo que descubren una mayor sección de paso al aire, facilitando su entrada a los cilindros. Si por el contrario, se le hace funcionar a cargas bajas, la alzada se reduce, de forma que la sección de paso es menor, limitando de este modo la entrada de aire. Esta es centrada puede variar la alzada de las válvulas desde los 0,0 a los 9,7 milímetros, en función del aire necesario para la combustión.

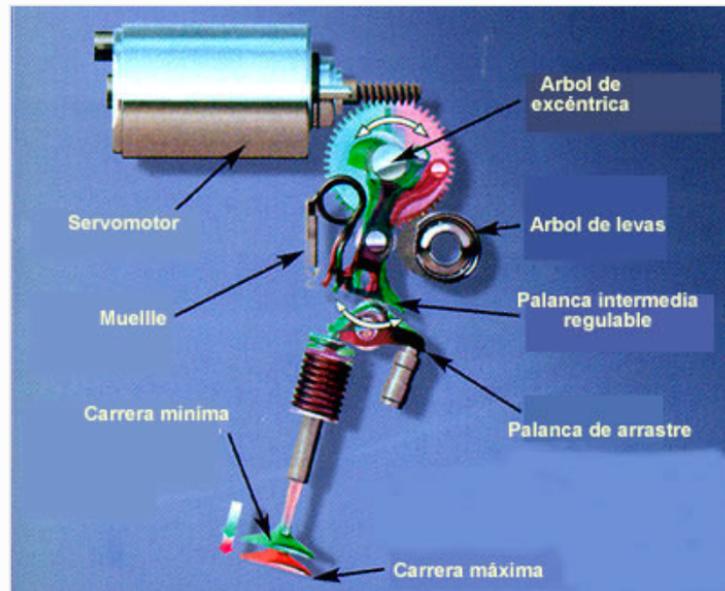


FIGURA 4.17: CONJUNTO DE PIEZAS DEL SISTEMA VALVETRONIC

El árbol de levas no actúa directamente sobre la palanca de arrastre que, por su parte acciona la válvula, sino que actúa sobre una palanca intermedia. Sin embargo, esta palanca intermedia no se encuentra en posición horizontal debajo del árbol de levas sino que está ubicada en posición vertical junto a dicho árbol. La palanca intermedia está dotada en el centro de un rodillo que está en contacto con la leva (árbol de levas). El extremo inferior de la palanca intermedia está apoyado sobre el rodillo de la palanca de arrastre, mientras que en la parte superior está apoyada en un eje excéntrico dotado a su vez de un segundo rodillo.

Cuando gira el árbol de levas, la palanca intermedia ejecuta un movimiento pendular. Para conseguir que este movimiento horizontal se transforme en un movimiento vertical, la palanca intermedia tiene en su parte inferior un perfil sumamente complejo que, a primera vista, tiene forma de bumerang, ya que la mitad del perfil transcurre casi paralelamente a la palanca de arrastre, mientras que la otra mitad tiene un ligero ángulo. Sólo cuando la parte en ángulo actúa sobre el rodillo de la palanca de arrastre, presionándola hacia abajo, se abre la válvula.

La relación de la palanca ha sido definida de tal modo que tan sólo aproximadamente la mitad de todo el perfil que tiene forma de bumerang actúa sobre la palanca de arrastre. El principio y el final de esa mitad son determinados por el fulcro de la palanca de desviación. Es aquí donde interviene el árbol de excéntrica accionado por un motor eléctrico: si aplica presión sobre el rodillo superior de la palanca de desviación en dirección del árbol de levas, cambia el fulcro de la palanca y, en consecuencia, cambia también la parte efectiva del perfil en forma de bumerang. De

esta manera es posible variar de modo continuo la carrera de la válvula de admisión, teóricamente desde las posiciones completamente cerrada hasta completamente abierta. Este es el principio de funcionamiento del sistema VALVETRONIC.

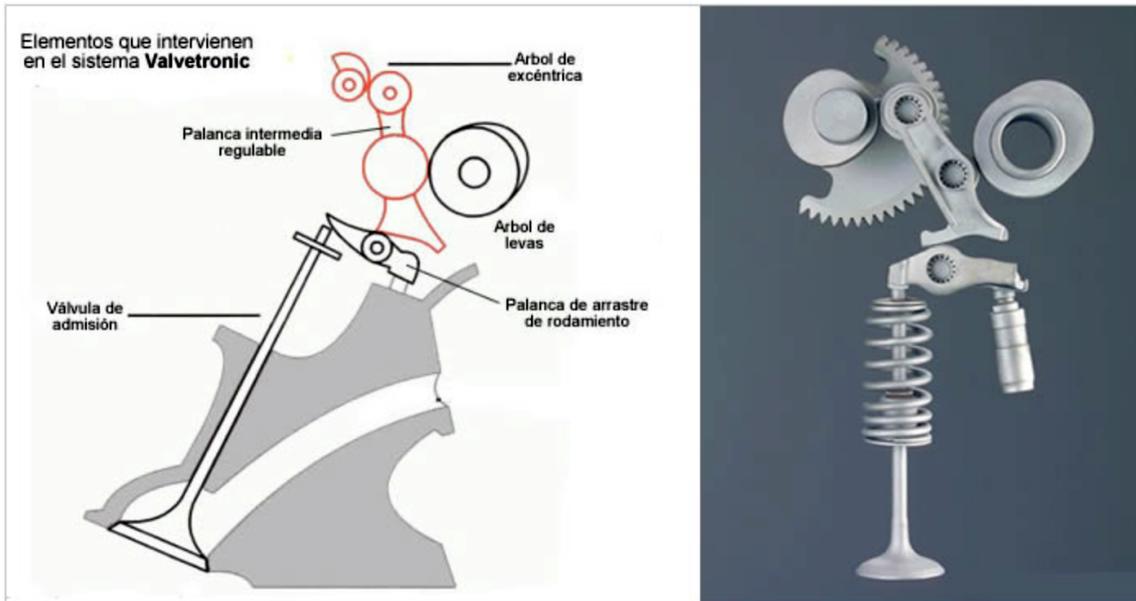


FIGURA 4.18: IMÁGENES DEL SISTEMA VALVETRONIC

Un procesador de 32 bits, físicamente independiente de la centralita del motor, controla el movimiento del motor eléctrico que coloca estos actuadores intermedios en la posición requerida. El tiempo necesario para cambiar la carrera de las válvulas desde la mínima a la máxima alzada es de 300 ms, el mismo que necesita el ya conocido sistema de distribución variable VANOS, del que también dispone este motor, en ajustar los tiempos de apertura.

La regulación del caudal de aire de entrada se sigue consiguiendo a costa de introducir una restricción a su paso por las válvulas de admisión, y por tanto, de unas ciertas pérdidas por bombeo (el trabajo que le cuesta al motor succionar aire del exterior a través de los conductos de admisión y las válvulas), pero las pérdidas a través de las válvulas de admisión del motor Valvetronic son menores que la suma de las que se producen en la válvula del acelerador y las de admisión de un motor convencional.

Únicamente para funciones de diagnóstico y en caso de avería del sistema, el motor Valvetronic de BMW sigue equipando una válvula de mariposa convencional a la entrada del conducto de admisión, que en condiciones normales permanece completamente abierta, ofreciendo una resistencia nula a la entrada del aire.

Gracias a todo ello, BMW anuncia una reducción del consumo de un 10% en las situaciones más comunes de conducción, cuando el motor está trabajando a cargas parciales. O lo que es lo mismo, cuando la válvula de mariposa debería estar obstruyendo en mayor medida el paso de aire.

4.7 Sistema MultiAir de grupo Fiat

Al igual que en el sistema valvetronic de BMW este sistema también se prescinde de la mariposa de admisión y la inyección del combustible se hace de forma indirecta, es decir, en el colector de admisión.

Fiat dice que los sistemas electromagnéticos para controlar el movimiento de cada válvula han tenido que desecharse tras años de pruebas por los problemas de fiabilidad y la cantidad de energía que precisan. Según Fiat, el sistema electrohidráulico de los motores “MultiAir” es relativamente sencillo, de bajo coste, fiable, consume poca energía y les proporciona una gran flexibilidad a la hora de programar la distribución.

El sistema “MultiAir” introduce una serie de elementos intermedios entre la leva de admisión y la válvula, lo que hace que el movimiento de la válvula de admisión no esté directamente relacionado con el de la leva.

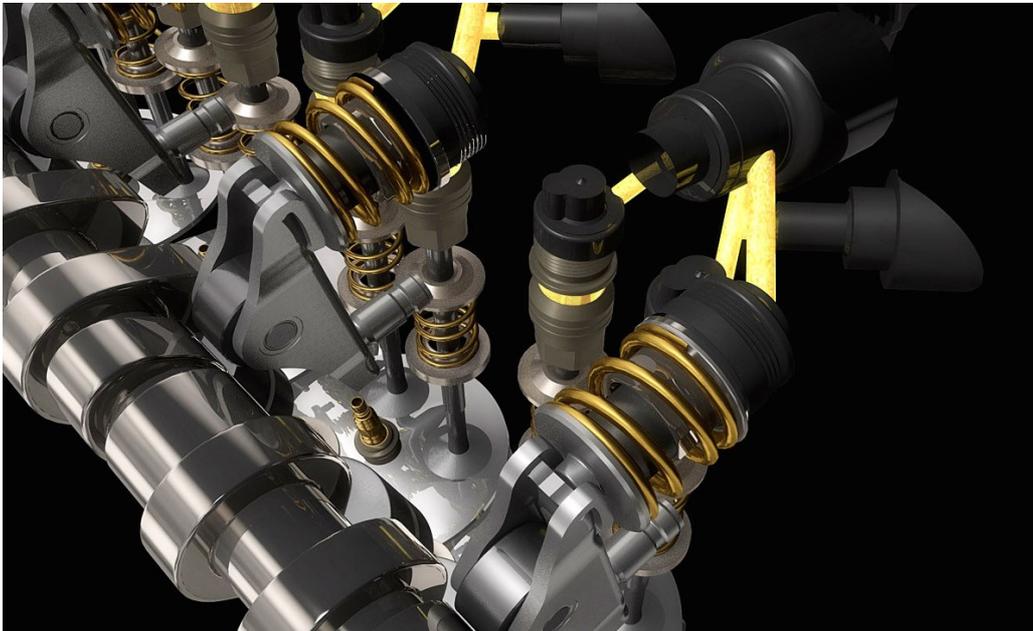


FIGURA 4.19: SISTEMA MULTIAIR

El sistema funciona de la siguiente forma: el árbol de levas acciona un pistón, éste está conectado hidráulicamente con una cámara hidráulica, la cual es controlada por una válvula electromagnética (solenoides). Esta cámara hidráulica está a su vez comunicada con las dos válvulas de admisión del cilindro.

Cuando la válvula electromagnética está cerrada, el fluido de la cámara hidráulica actúa como un cuerpo sólido transmitiendo el movimiento del árbol de levas. Cuando la válvula electromagnética se abre, desaparece esa unión “rígida” entre la válvula de admisión y la leva, con lo que la primera se cierra debido a la fuerza que ejerce su muelle (para suavizar este movimiento de cierre el sistema incorpora un freno hidráulico).

Controlando la apertura y cierre de la válvula electromagnética, Alfa Romeo ha configurado los siguientes modos de funcionamiento:

1.- Potencia máxima (full lift): La válvula electromagnética está siempre cerrada y la apertura de las válvulas de admisión sigue la evolución de la leva mecánica (como en un motor con distribución normal), optimizada específicamente para obtener la máxima potencia a regímenes altos (tiempos prolongados de apertura de las válvulas).

2.- A bajas y medias revoluciones y plena carga (PARTIAL LOAD): La válvula electromagnética se abre anticipadamente para cerrar la válvula de admisión. Esto elimina un reflujo de gases indeseado en el colector.

3.- Carga parcial del motor (LIVO): La válvula de admisión comienza su apertura más tarde y se cierra antes de lo normal.

4.- Programado para regímenes de giro bajos con un bajo grado de carga del motor (EIVC): Ello se logra, abriendo la válvula electromagnética cuando las válvulas de admisión comienzan a abrirse por el movimiento de la leva, así se consigue cerrarlas muy anticipadamente (antes de que lleguen al punto de apertura máxima). En este caso, el flujo de aire tiene una velocidad grande y genera un nivel de turbulencia elevado dentro de los cilindros.

5.- Para regímenes muy bajos (MULTI LIFT): Es posible hacer que las válvulas de admisión se abran dos veces en un ciclo. De este modo se aumenta la turbulencia en la mezcla y la velocidad de combustión en cargas.

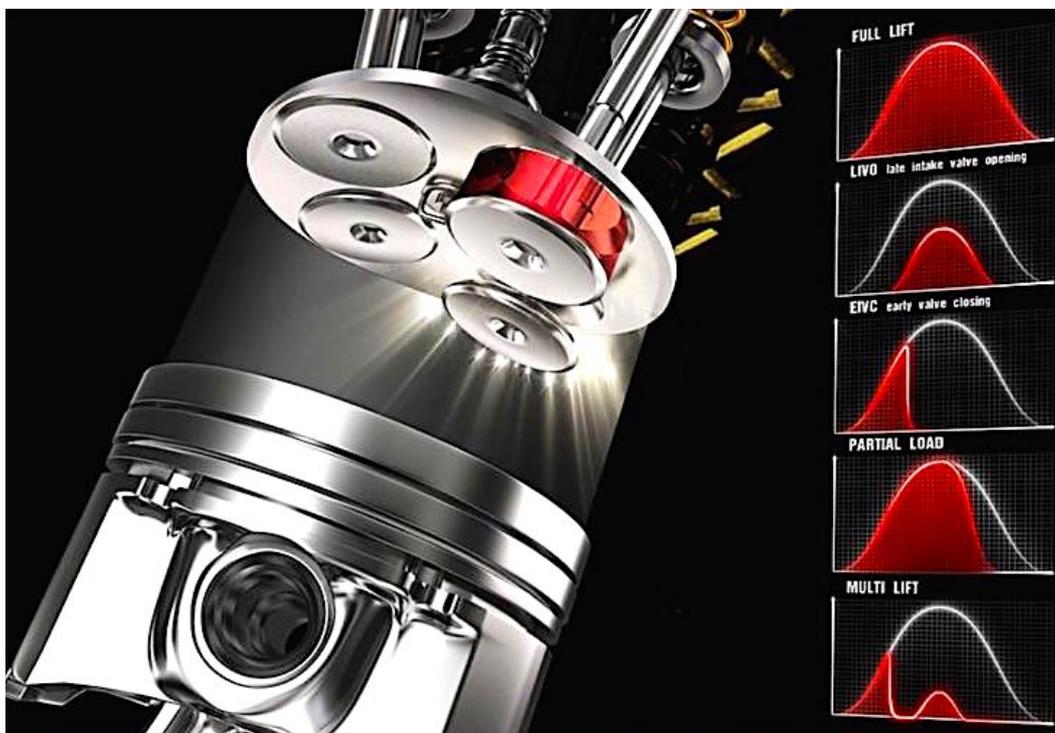


FIGURA 4.20: DISTINTAS ESTRATEGIAS LAS CUALES PUEDE UTILIZAR EL SISTEMA

Los beneficios de la tecnología "MultiAir" para motores de ciclo Otto verificados hasta el momento son:

- La potencia máxima es aumentada en hasta un 10%, gracias a la adopción de un perfil mecánico orientado para más potencia.

- El par en bajas rotaciones de giro es mejorado en hasta un 15%, gracias a la adopción de estrategias de encerramiento anticipado de válvulas de admisión, lo que maximiza el rendimiento volumétrico del motor en estas condiciones.

- La reducción de pérdidas de bombeo, la mejora de la combustión en las respuestas dinámicas, y el mayor par en bajas rotaciones generan una reducción del 10% del consumo de combustible y de emisiones de CO₂.

- Motores MultiAir sobrealimentados utilizando el concepto del *downsizing*, pueden alcanzar una reducción de hasta un 25% en el consumo de combustible con relación a motores convencionales naturalmente aspirados con el mismo nivel de desempeño.

- Reducción de emisiones del orden del 40% de Hidrocarburos y de Monóxido de Carbono debido a la utilización de estrategias ideales de control de la cantidad de aire durante el calentamiento del motor.

- Reducción de emisiones de hasta un 60% para Óxidos de Nitrógeno, debido a la utilización de la recirculación interna de gas de escape, realizada al reabrir las válvulas de admisión durante el tiempo de extracción.

5. Sistema de distribución camless electro-hidráulico

Hasta este apartado, todos los demás sistemas existen y están implantados en mayor o menor medida en los motores de las marcas la cual tiene la patente de ello.

Ahora se va a explicar cuál es el funcionamiento de este tipo distribución el cual aún no se ha implantado en ningún motor el cual se comercialice en el mercado.

La Universidad Politécnica de Valencia ha estado varios años trabajando en un proyecto el cual es este tipo de sistema distribución. Se trata de un motor para Volvo utilizado en camiones en el cual solo se habitó este sistema en un cilindro convirtiendo el motor en un mono cilíndrico para poder ver con mayor detalle el funcionamiento del sistema.

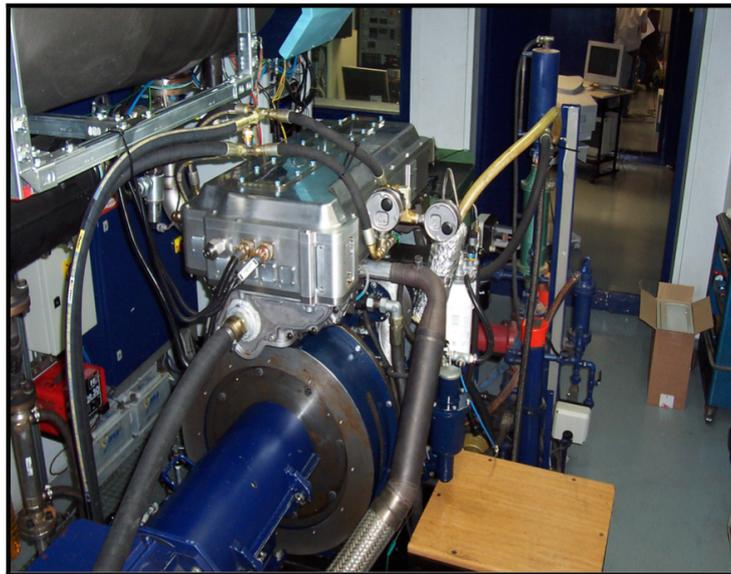


FIGURA 5.1: MOTOR TÉRMICO

Este sistema "CAMLESS" ha sido desarrollado mediante actuadores electro-hidráulicos, comandados desde un ordenador, donde se introducen los parámetros de funcionamiento de las válvulas. Con esta tecnología se ha conseguido obtener un sistema de actuación de válvulas completamente flexible, ya que se pueden variar todos los parámetros de la distribución del motor a voluntad del operario, siempre y cuando no exista interferencia mecánica entre el sistema de distribución y el MCIA.

El sistema está formado básicamente por cuatro conjuntos de elementos que son: carro de bombas hidráulicas, raíles hidráulicos y módulos de actuadores, armario de control, y software de control. A continuación se procede a detallar los elementos fundamentales del sistema.

5.1 Bombas hidráulicas

Son las encargadas de suministrar los caudales necesarios de aceite a la presión y temperatura adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema. En él se pueden diferenciar los siguientes elementos:

- **Bomba de alta presión.** Engranada a un motor eléctrico, genera la presión necesaria para el circuito de alta presión con el que se accionará el actuador de las válvulas del MCIA. La presión entregada por esta bomba es variable.
- **Bomba de baja presión.** Ésta está engranada a otro motor eléctrico y es la encargada de generar la presión necesaria para el circuito de baja presión, con el que se comandará la válvula de tres vías que regula el caudal de entrada o salida del actuador.

5.2 Bloque de railes y actuadores

- **Bloque de railes.** Están formados por dos conductos interiores (el superior para alta presión y el inferior para baja presión), y su función es distribuir la presión de aceite a los módulos de los actuadores de las válvulas del MCIA.

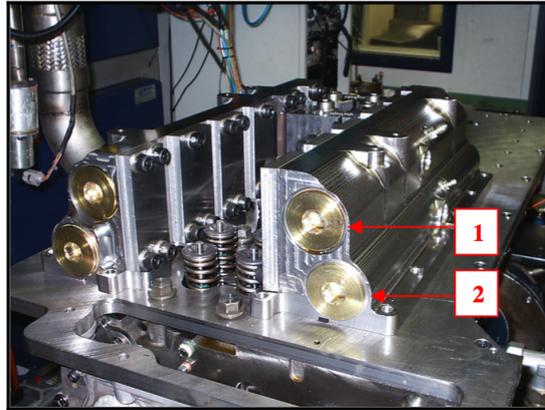
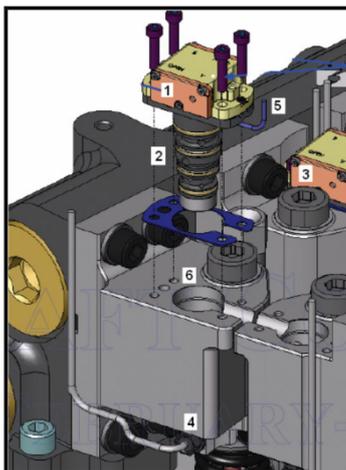


FIGURA 5.3: RAÍL DE ALTA [1] Y BAJA PRESIÓN [2]

Estos elementos se encuentran instalados sobre los railes que son los encargados de almacenar el aceite que llega desde las bombas a través de dos mangueras (una de alta y otra de baja presión).

- **Actuadores.** Este módulo contiene todos los elementos necesarios para poder conseguir el perfil de levantamiento de válvulas deseado en cada momento a partir de la presión del aceite suministrado por los railes.



- 1- Válvula digital de dos vías.
- 2- Válvula proporcional de tres vías.
- 3- Válvula de seguridad alta presión.
- 4- Sensor levantamiento de válvulas.
- 5- Sensor posición válvula proporcional.
- 6- Alojamiento pistón actuador.

FIGURA 5.4: MODULO ACTUADOR Y COMPONENTES

5.3 Principio de funcionamiento

El esquema expuesto a continuación es un sistema de Accionamiento de Válvulas Hidráulico de dos etapas de la marca STURMAN. Este sistema es totalmente flexible ya que es comandado electrónicamente. De éste modo se hace posible realizar cualquier estrategia de distribución variable ya que nos permite realizar la apertura de válvulas con el perfil que se desee siempre que no exista interferencia mecánica del sistema de distribución con el pistón del MCIA.

Dentro de este sistema se pueden diferenciar dos circuitos hidráulicos, uno de baja presión (31 bar) que contiene a las válvulas de accionamiento electromagnético y otro de alta presión (variable 70 a 200 bares) donde se encuentra la válvula de desplazamiento proporcional y los actuadores.

En la siguiente figura se muestra un esquema con la configuración de los circuitos hidráulicos mencionados donde además se pueden diferenciar los distintos componentes del sistema.

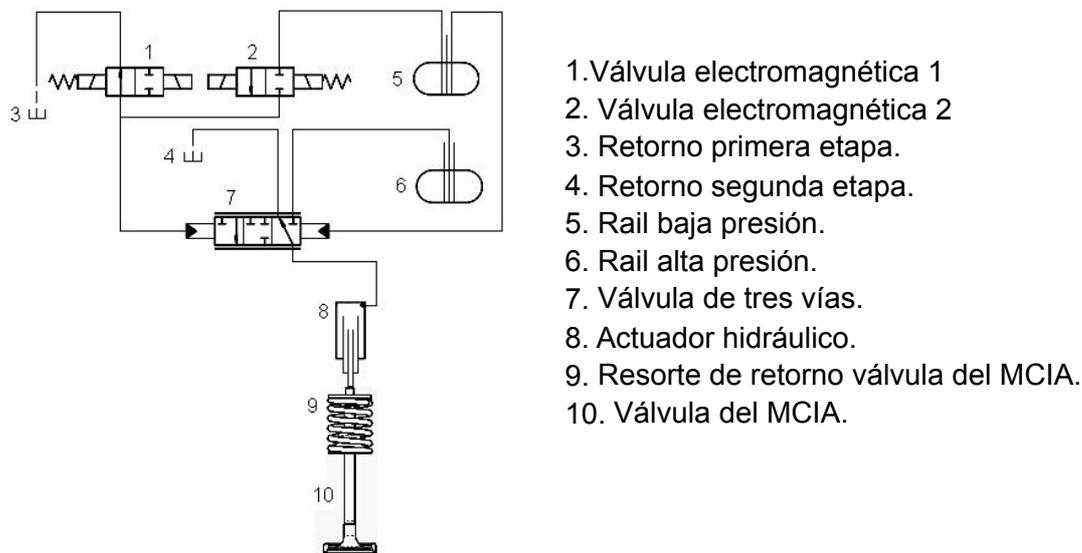


FIGURA 5.5: ESQUEMA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.

El circuito de baja presión se utiliza como sistema auxiliar para posicionar a la válvula de desplazamiento proporcional (de la cual se hablará a continuación) en el punto deseado. Para esto el circuito de baja presión dispone de dos válvulas de accionamiento electromagnético. Estas válvulas son del tipo todo/nada y según se combinen sus posiciones el fluido operante de este circuito circulará en un sentido o en otro, haciendo que la válvula proporcional se sitúe en una posición determinada.

La válvula de desplazamiento proporcional es la encargada de cerrar o permitir el caudal de entrada-salida en el volumen de control del actuador. Esta válvula tiene tres zonas de trabajo, en la primera zona se comunica el circuito de alta presión con los actuadores con lo que se produce el movimiento de apertura de las válvulas del MCIA. En la segunda zona se aísla al volumen encerrado dentro del actuador, del resto del sistema de alta presión; con lo que las válvulas mantienen la posición que tenían en el instante anterior a esta situación. Por último en la tercera zona de trabajo, la válvula de

desplazamiento proporcional comunica el volumen encerrado en el interior del actuador con presión atmosférica, con lo que se produce el movimiento de cierre de las válvulas del MCIA.

En este sistema el valor del caudal que circula por el interior de la válvula de desplazamiento proporcional, es función de la posición que adquiera la misma, conforme se muestra en la siguiente figura. Según el caudal que circule en los procesos de llenado o vaciado del volumen de control del actuador, la fuerza que ejercen los muelles de las válvulas y la presión del circuito de alta presión, se obtendrán unos perfiles de apertura de válvulas determinados.

A continuación se puede observar como varían los perfiles de apertura de las válvulas en función de la variación de los parámetros introducidos en la ECU que controle el sistema. En estos casos, a modo de ejemplo, se ha variado el tiempo, la duración, el levantamiento o el perfil de cierre de las válvulas.

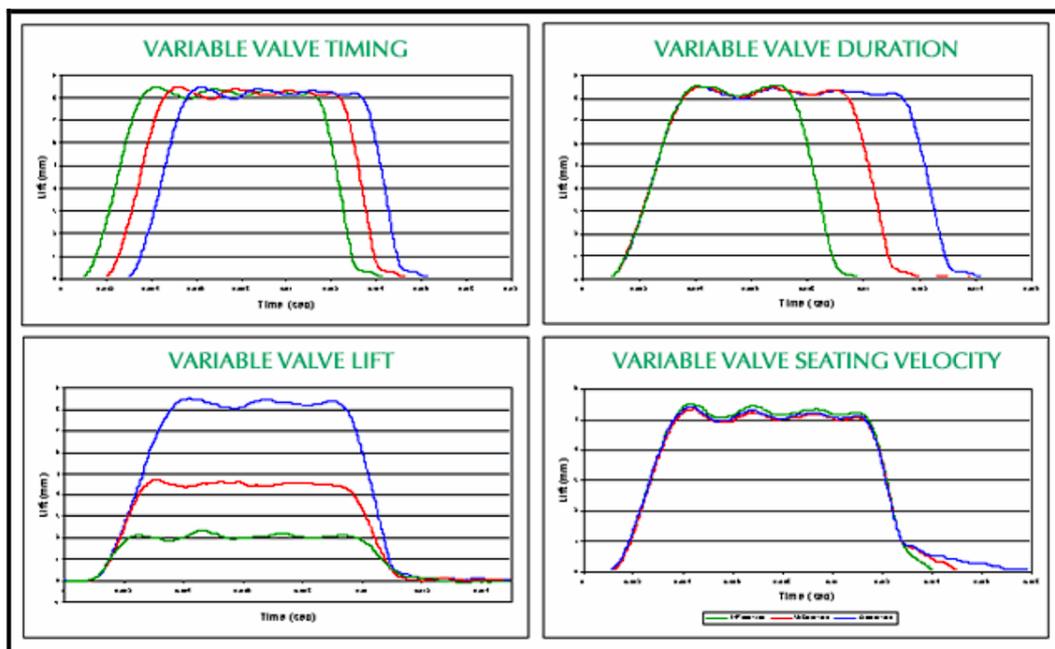


FIGURA 5.6: DIFERENTES ESTRATEGIAS QUE SE CONSIGUEN EN EL SISTEMA

6. Sistema de distribución camless electro-mecánico

Los nuevos sistemas Camless, aportan a los motores la desaparición de los árboles de levas y de la distribución, y un control electromecánico de la apertura y cierre de las válvulas.

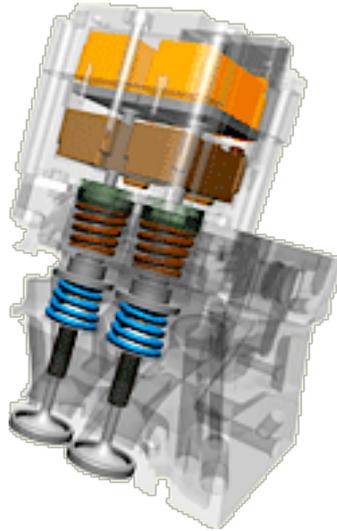


FIGURA 6.1: ACTUADORES DE VÁLVULAS

Los actuadores funcionan según el principio de muelle - oscilador, con electroimanes que sitúan a la válvula en ambas posiciones finales.

El momento y el tiempo de apertura y de cierre de la válvula se controlan constantemente por una señal modulada.

Este tiempo de conmutación, la velocidad del cierre y la altura de apertura, no dependen solo de velocidad y de carga del motor, sino de la gestión que sobre ellas haga la unidad de control, en función de todos los parámetros de funcionamiento, pudiendo ajustar esta sincronización al modo de funcionamiento idóneo.

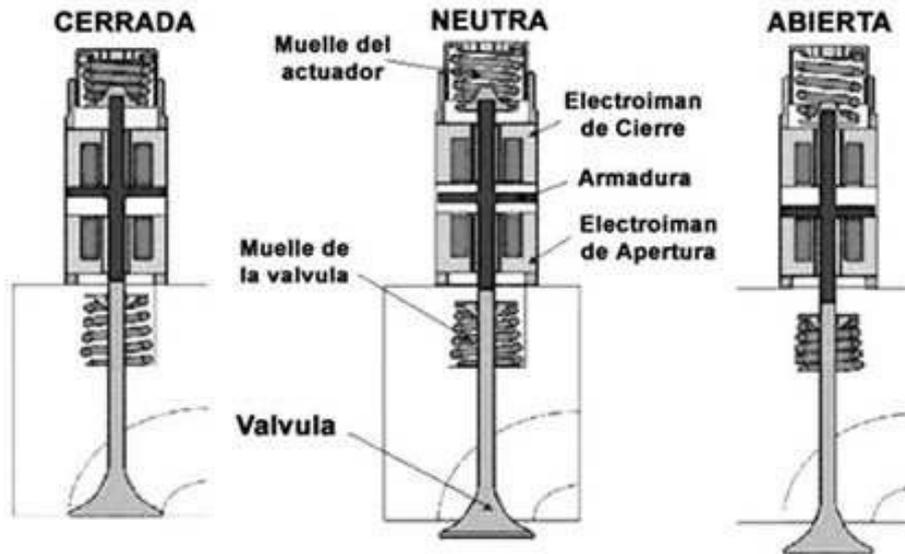
6.1 Funcionamiento de los actuadores

La válvula electromecánica funciona en tres posiciones típicas.

Hay dos electroimanes, dos resortes y una armadura en cada actuador.

Cuando se activa la bobina, se genera un campo magnético y la fuerza magnética se aplica a la armadura.

FIGURA 6.2: PARTES Y POSICIONES DE LOS ACTUADORES



Cuando no hay corriente en las bobinas, la válvula permanecerá en la posición neutra, por acción de los muelles.

Para abrir la válvula se aplica una corriente a la bobina más baja. Para cerrar la válvula se aplica una corriente a la bobina más alta.

La corriente que se aplica a las bobinas del actuador, se realiza de forma modulada de modo que las válvulas se deceleran a una velocidad cercana a cero cuando estas cierran, con un tiempo de conmutación muy bajo.

Para las válvulas esto significa una generación mínima de ruido y un desgaste muy pequeño, así como la ausencia de reglaje.

6.2 Lógica de funcionamiento

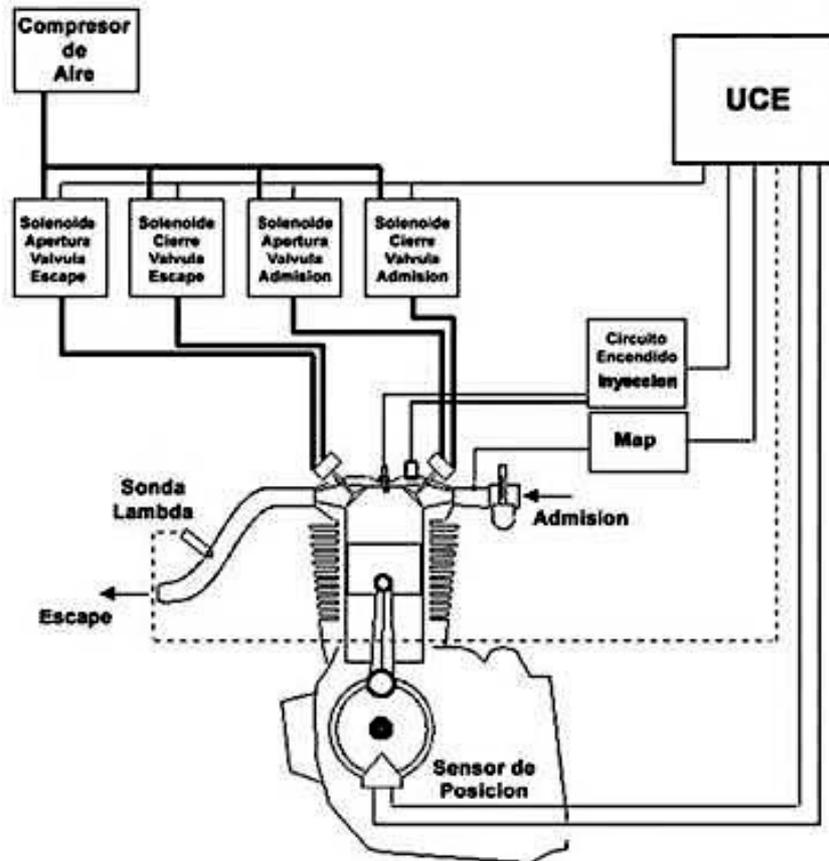


FIGURA 6.3: COMPONENTES DEL SISTEMA

El componente más crítico para el control del sistema, es el sensor de posición del cigüeñal, ya que debe ser extremadamente preciso.

La utilización de un generador óptico de 360 ranuras, para la posición y otro para las revoluciones es el montaje más idóneo.

El control electrónico sobre la presión del turbocompresor, el encendido y la inyección de combustible se realiza conjuntamente con el control de las válvulas, utilizando sensores ya conocidos.

El sensor lambda es vital en este sistema, ya que se utiliza en sintonización con el período del cruce de válvulas. La lectura del sensor lambda da una indicación precisa de si las válvulas de admisión y escape se abrieron y cerraron en su momento, en la fase de cruce, permitiendo así que se corrija su funcionamiento.

7. Conclusiones

Debido a las exigencias a las que están expuestas las marcas automovilísticas por parte de los usuarios y de las normas anticontaminación marcadas por la zona euro harán que proyectos de innovación como este, deba implantarse en todos los motores térmicos, especialmente los alternativos, ya que con ello se mejora el rendimiento y esto conllevará a unas mejoras de las prestaciones, tales como, mayor par motor, menor consumo, que a su vez irá ligado a menores emisiones contaminantes como ya se ha podido ver en todo el trabajo anterior.

Pero para que estos sistemas lleguen a ser viables deberían hacerse algunos cambios en los vehículos para que estos sistemas funcionarán correctamente.

El sistema con los actuadores electromagnéticos requeriría cambiar el voltaje del vehículo a 48V porque este sistema crearía unas caídas de tensión mayores de las que podría asumir una sola batería de 12V. Pero este cambio sería un beneficio ya que debido al gran número de consumidores eléctricos que existen actualmente en los vehículos más los que se sumarán en un futuro es difícil suministrar electricidad para todos estos componentes solo con 12V.

Por otro lado, el sistema electrohidráulico tiene la problemática de que antes de poner en marcha el motor se debe calentar el aceite del sistema para que éste llegue a una temperatura estable la cual está pensada para su buen funcionamiento, ya que la viscosidad del aceite cambia con la temperatura. Si el motor se enciende estando el aceite del sistema frío las válvulas no actuarían correctamente (no cerrarían del todo, no tendrían la apertura que se desea, la alzada no sería la adecuada...).

Vistas las problemáticas técnicas de cada uno de los sistemas, se expone a continuación los beneficios del sistema.

Beneficios del sistema:

- Mejora de emisiones contaminantes. Una buena coordinación entre el sistema "camless" y el sistema de inyección llevaría a cabo la disminución del contaminante NOx, esto se traduciría en una reducción del porcentaje de apertura de la válvula EGR (recirculación de gases del escape) o anulación de ésta. Con ello se conseguiría que los gases que entraran al motor fuesen limpios, esto repercutiría en que el rendimiento volumétrico real aumentaría ya que todo el gas que entrara en el cilindro aportaría energía al ciclo, situación que no ocurre con el sistema de recirculación de gases del escape. También se reducirán las emisiones de HC durante el arranque en frío y la operación de calentamiento del motor.
- Múltiples diagramas de distribución. El sistema es capaz ofrecer un control total sobre las válvulas, solo viéndose limitado por la cabeza del pistón cuando éste se acerca al PMS. En los temas anteriores se vio la importancia que suponía tener un buen rendimiento volumétrico, pero con los sistemas utilizados hasta ahora era muy difícil que, para cada rango de revoluciones y de grado de carga al que cual se someta el motor, obtener el rendimiento volumétrico máximo. Con este sistema se

consigue que en cada momento el diagrama podrá ser distinto así como también el alzado de las válvulas para que el rendimiento del motor siempre sea el máximo, o los factores que más convengan en cada situación dada.

- En los sistemas de distribución convencional, o ya sean los de distribución variable, todos estos tienen la misma peculiaridad, existe un tiempo desde que la válvula está totalmente cerrada hasta que está totalmente abierta, este tiempo no es eficiente, ya que se abre progresivamente (lo mismo ocurre en el cierre de la misma). Con este sistema se consigue que la apertura o el cierre de la válvula no tenga este proceso y con ello se logra que se realice lo más rápido posible consiguiendo de esta manera aumentar el rendimiento del ciclo.

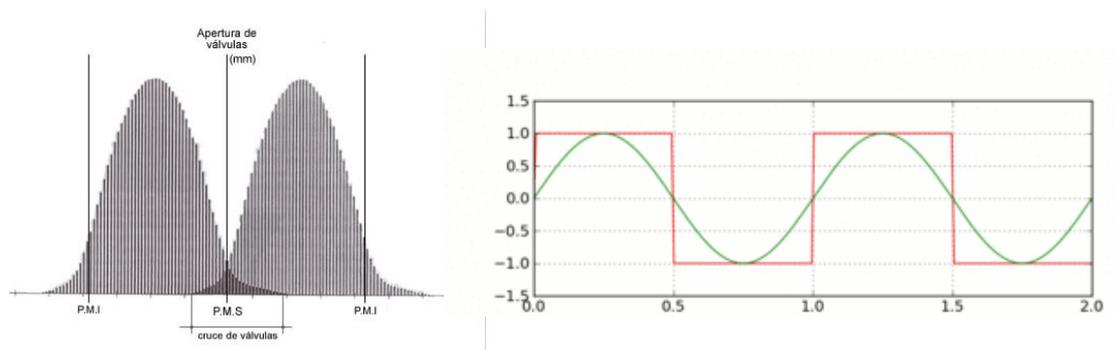


FIGURA 7 Y 7.1: COMPARATIVA ENTRE ALZADO DE VÁLVULAS CON EL SISTEMA CONVENCIONAL Y CON EL SISTEMA CAMLESS.

En los diagramas anteriores quedan representados, en la imagen de la izquierda la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape en el cruce de válvulas, en la imagen de la derecha una señal cuadrada con una senoidal (la señal senoidal representa al alzado de válvulas con árbol de levas y la señal cuadrada al sistema "camless"). Estas dos imágenes están enfrentadas para que se observe con total claridad el área de trabajo el cual se está perdiendo entre la señal cuadrada y la señal senoidal, y es el trabajo que se está perdiendo actualmente en cualquier motor de cuatro tiempos.

- Este sistema se puede combinar con el de desconexión de cilindros, ya que en todo momento la centralita puede decidir si se abren o no las válvulas dependiendo del grado de carga del motor y revoluciones de giro de éste. Con ello se consigue un menor consumo cuando no se requieran prestaciones y a su vez, una mayor potencia cuando la situación lo requiera.
- En este sistema se implantará un ciclo que hasta ahora ha estado prácticamente en el olvido, el llamado ciclo "Atkinson".

El ciclo "Atkinson" se basa en el ciclo de "Otto" el cual ya se ha visto en los temas anteriores, pero este ciclo tiene dos grandes diferencias respecto al ciclo "Otto".

- En el ciclo "Otto" cuando el pistón está ubicado en el PMI una vez ya ha concluido la admisión y tiene un movimiento ascendente, ambas válvulas están cerradas (fase de

compresión). En el ciclo “Atkinson” no ocurre de esta forma, durante gran recorrido del pistón en dirección al PMS la válvula de admisión queda abierta y no se comprime la mezcla, de esta forma se necesita un menor trabajo aportado para que el pistón llegue al PMS.

- En la fase de combustión/expansión el pistón recorrerá toda la carrera descendente con las válvulas cerradas aprovechando de esta manera toda la energía de la combustión en cambio en un ciclo “Otto” la válvula de escape tiene un adelanto de apertura que significa que la válvula abrirá antes de que el pistón llegue al PMI, esto significa que se está desaprovechando rendimiento efectivo del motor.

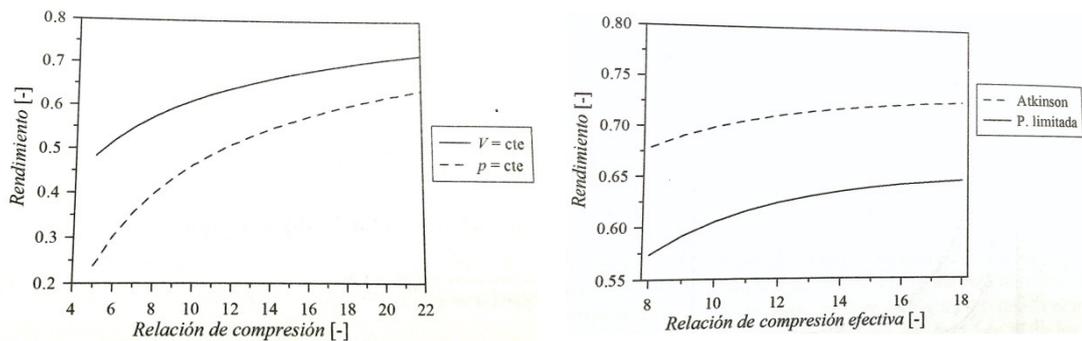


FIGURA 7.2 Y 7.3: COMPARATIVA DE LOS RENDIMIENTOS DEL CICLO OTTO Y EL CICLO ATKINSON

En las gráficas están representados el rendimiento de los ciclos $V = cte$, que corresponde con el ciclo “Otto” y el ciclo “Atkinson” respecto a la relación de compresión.

Si se observa en la relación de compresión 8 el ciclo “Atkinson” tiene aproximadamente un 10% más de rendimiento con respecto al ciclo “Otto”, siendo más o menos constante esta diferencia en cualquiera de las relaciones de compresión.

La desventaja de este ciclo es la baja potencia del ciclo a “Atkinson” respecto al ciclo “Otto”, por ello, se combinan ambos ciclos en un mismo motor y con ello se consigue potencia y rendimiento máximos en los momentos pertinentes a ello.

- Dimensiones y peso menor. El motor tendrá unas dimensiones menores que un motor con árbol de levas ya que éste será más bajo. Al suprimir los árboles de levas, sus elementos de accionamiento, así como sus taqués hidráulicos también se verá reducido en el peso.
- Un punto muy importante que se consigue en este sistema es reducir las pérdidas mecánicas del motor. Estas pérdidas oscilan el 30% del rendimiento total del motor y se dividen en pérdidas de fricción, de bombeo y por accionamiento de auxiliares.
- Pérdidas por fricción: Son las originadas por el rozamiento entre las piezas móviles que componen los mecanismos del motor.
- Pérdidas de bombeo: Se definen como el trabajo mecánico realizado por el pistón contra los gases durante los procesos de admisión y escape.

- Pérdidas de accionamiento de auxiliares: Son las pérdidas debidas al accionamiento de los diferentes elementos auxiliares del motor.

De forma general las pérdidas mecánicas en motores de automoción de aspiración natural a plena carga y régimen de giro de máxima potencia efectiva, se distribuyen en porcentajes de la forma siguiente:

- Pérdidas por fricción: 60%
- Pérdidas por bombeo: 25%
- Pérdidas por auxiliares: 15%

Dependiendo del tipo de motor si es “motor de encendido provocado” o “motor de encendido por compresión” estos porcentajes sufrirán variaciones, por ejemplo, en los MEC las pérdidas en el mecanismo pistón-biela-cigüeñal son más elevadas por soportar mayores esfuerzos mecánicos causados por mayores presiones de combustión, en cambio en los MEP, tienen una pérdida mayor en el proceso de renovación de la carga. Estas pérdidas se incrementan a bajos grados de carga debido a la estrangulación que ocasiona la mariposa de gases del conducto de admisión.

Con el sistema “CAMLESS” se verán disminuidos los 3 tipos de pérdidas comentados.

Las pérdidas por fricción disminuirán ya que se elimina el sistema que anteriormente se utilizaba para accionar las válvulas (árboles de levas, taqués hidráulicos) a su vez, al no tener que accionar estos elementos también disminuyen las pérdidas por accionamiento de elementos auxiliares, aunque normalmente el accionamiento del árbol de levas no se considera un elemento auxiliar ya que sin él, el motor no sería capaz de funcionar, en cambio, aquí si se hará ya que este sistema de accionamiento va a ser suprimido y será un beneficio en el rendimiento total del motor.

También se reducirán las pérdidas de bombeo ya que en los motores MEP será eliminada la mariposa de gases, necesitada en el anterior sistema pero totalmente prescindible en este sistema.

Si se habla en porcentajes, se disminuirá aproximadamente un 20% en las pérdidas de fricción, 50% de las pérdidas de bombeo y un 8% en las pérdidas por accionamientos auxiliares, y se traduce en un porcentaje global de un 8%.

Todos estos factores descritos llevan a una reducción de combustible que rondará el 20% aunque podría alcanzar el 50%, un aumento de par motor del 30% y un aumento del rendimiento total de un 15%.

8. Bibliografía

Motores de combustión interna alternativos - F. Payri; J.M. Desantes;

Camless Engine - Michael M.Schechter and Michael B.Levin SAE paper 960581

Camless Variable Valve Timing - Andrew Butler and Dr. M. K. Ramasubramanian

Compact, electro-hydraulic, variable valve actuation system providing variable lift, timing and duration to enable high efficiency engine combustion control - James McCarthy, Jr. & Dale Stretch

<http://www.sobreruedasfm.com/2013/04/motores-sin-arboles-de-leva-posible.html>

http://www.ina.ac.cr/mecanica_de_vehiculos/SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION%20VARIABLE.pdf

<https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/distribucion.pdf>

www.iessierradeguara.com/documentos/departamentos/automocion/circuitos_auxiliares/Mezclas%20y%20gases%20de%20escape/combustion_mezcla.pdf

<http://autastec.com/blog/nuevas-tecnologias/motor-cam-less/>

<http://www.km77.com/00/alfa/mito/t04.asp>

http://www.km77.com/00/fiat/tecnica/motor_twin-air/bicilindrico.asp

<http://www.km77.com/tecnica/motor/valvetronic/texto.asp>

<http://www.taringa.net/post/autos-motos/16177961/Distribucion-variable-1era-parte.html>

<http://www.aficionadosalamecanica.net/distribucion-variocam.htm>

http://www.aficionadosalamecanica.net/distribucion_variable2.htm

<http://www.fiat.com.co/novedades/tecnologia-multi-air-es-distincion-del-motor-14-16v-del-nuevo-fiat-500>

<http://www.km77.com/tecnica/bastidor/42v/texto.asp>

http://www.autospeed.com/cms/A_113155/article.html