

Motores

Santiago Sanz

TRANSPORTE Y MANTENIMIENTO
DE VEHÍCULOS




EDITEX

Licenciado a Paul Fernando Merino Morillo - paulmerino@hotmail.com

© Editorial Editex. Este archivo es para uso personal cualquier forma de reproducción o distribución debe ser autorizada por el titular del copyright.

Motores

Santiago Sanz



ACCESO

Test de autoevaluación interactivos



EDITEX

Licenciado a Paul Fernando Merino Morillo - paulmerino@hotmail.com

© Editorial Editex. Este archivo es para uso personal cualquier forma de reproducción o distribución debe ser autorizada por el titular del copyright.

ÍNDICE

1. Motores y seguridad en el taller	8
1 Historia del motor	10
2 El motor térmico de combustión interna	11
3 Clasificación de los motores de combustión interna	11
4 Motor eléctrico	13
5 Seguridad en el taller de motores	14
Actividades finales	18
Evalúa tus conocimientos	19
Práctica profesional	
Identificar diferentes tipos de motores	20
Determinar los equipos de protección necesarios en el taller de motores	21
Mundo técnico	
Buenas prácticas medioambientales	22
2. El motor Otto de cuatro tiempos	24
1 Características del motor Otto	26
2 Constitución del motor Otto	28
3 Funcionamiento del motor térmico de combustión interna	30
4 Motores Otto de cuatro tiempos	42
Actividades finales	44
Evalúa tus conocimientos	45
Práctica profesional	
Cálculo de la cilindrada de un motor	46
Diferencias en los diagramas teórico y práctico	47
Mundo técnico	
Inyección directa de gasolina	48
3. El motor Diesel de cuatro tiempos	50
1 Características del motor Diesel	52
2 Constitución del motor Diesel	54
3 Ciclo de trabajo del motor Diesel	55
4 Compresión y combustión	60
5 Intercambio de gases	63
6 Sobrealimentación	64
7 Tipos de motores Diesel de cuatro tiempos	65
8 Comparación entre motores Diesel y Otto	67
Actividades finales	68
Evalúa tus conocimientos	69
Práctica profesional	
Desmontaje de un motor Diesel	70
Identificación de los componentes de un motor Diesel	71
Mundo técnico	
Motores Diesel, evolución e historia	72
4. Características de los motores	74
1 Rendimiento del motor	76
2 Tipos de rendimiento	77
3 Características principales de los motores	80
4 Curvas características	85
5 Obtención de las curvas características	89
Actividades finales	96
Evalúa tus conocimientos	97
Práctica profesional	
Dibujar las curvas características de un motor ..	98
Cálculo de elasticidad	99
Mundo técnico	
Un completo chequeo. MAHLE	100
5. Disposición de los cilindros en el motor	102
1 Motores policilíndricos	104
2 Disposición de los cilindros	105
3 Número de cilindros y orden de encendido	107
4 Posición del motor en el vehículo	107



5 Formas del cigüeñal y tiempos de trabajo	108
6 Constitución del motor	111
Actividades finales	112
Evalúa tus conocimientos	113
Práctica profesional	
Ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos	114
Clasificación de los elementos del motor	115
Mundo técnico	
Motores en W - ¿qué significa la W?	116
6. La culata	118
1 Descripción de la culata	120
2 Tipos de culata	122
3 Cámara de combustión	123
4 Colectores de admisión y escape	128
5 Junta de culata	129
Actividades finales	130
Evalúa tus conocimientos	131
Práctica profesional	
Cálculo de la relación de compresión en un motor Diesel de inyección directa	132
Determinar el espesor de la junta de culata en un motor Diesel	133
Mundo técnico	
Juntas de culata MLS	134
7. Comprobación de la culata	136
1 Normas generales en el desarrollo de las prácticas	138
2 Extracción del grupo motopropulsor	139
3 Desmontaje de la culata y sus componentes	141
4 Comprobación de la culata	144
5 Rectificado de la culata	145
Actividades finales	148
Evalúa tus conocimientos	149
Práctica profesional	
Comprobación del plano de culata	150
Reacondicionamiento de la culata	151
Mundo técnico	
Fallos en la junta de culata	152
8. El sistema de distribución	154
1 El sistema de distribución	156
2 Disposiciones de la distribución	156
3 Mando de la distribución	158
4 Válvulas	162
5 Árbol de levas	169
6 Elementos intermedios	171
Actividades finales	176
Evalúa tus conocimientos	177
Práctica profesional	
Identificar el tipo de distribución en diferentes motores	178
Determinar el diagrama de distribución del motor	179
Mundo técnico	
Consideraciones, preguntas y respuestas sobre los motores multiválvulas	180
9. Sistemas para mejorar la carga del cilindro	182
1 Rendimiento volumétrico	184
2 Distribución multiválvulas	185
3 Admisión variable	187
4 Sistema de distribución variable	189
Actividades finales	198
Evalúa tus conocimientos	199
Práctica profesional	
Funcionamiento del sistema de admisión variable ACAV de Citroën	200
Comprobación del reglaje del variador celular de aletas	201
Mundo técnico	
Motor sin árbol de levas	202

10. Comprobación de la distribución 204

1 Anomalías en la distribución 206

2 Comprobación de los componentes de la distribución 206

3 Proceso de montaje de la culata 216

Actividades finales 221

Evalúa tus conocimientos 223

Práctica profesional

Comprobación de las válvulas 224

Montaje de una culata con apriete angular 225

Mundo técnico

Tornillos de culata 226

11. Verificación y puesta a punto de la distribución 228

1 Calado de la distribución 230

2 Sustitución de una correa dentada 234

3 Comprobación de las cotas de distribución 236

4 Reglaje de válvulas 238

Actividades finales 242

Evalúa tus conocimientos 243

Práctica profesional

Cambio de una correa de distribución 244

Regulación del juego de válvulas 245

Mundo técnico

Tensor de distribución 246

12. Bloque motor y tren alternativo 248

1 Transmisión de fuerzas 250

2 Bloque motor 253

3 Pistón 256

4 Biela 262

5 Cigüeñal 264

Actividades finales 268

Evalúa tus conocimientos 269

Práctica profesional

Dimensiones de un pistón 270

Calcular la velocidad media de los pistones 271

Mundo técnico

Tipos de pistones 272

13. Comprobación de pistón, biela, cigüeñal y bloque 274

1 Análisis de averías 276

2 Desmontaje de pistones, bielas y cigüeñal 279

3 Comprobación de pistones, bielas, cigüeñal y bloque 282

4 Montaje del motor 293

Actividades finales 296

Evalúa tus conocimientos 299

Práctica profesional

Sustitución de los cojinetes de bancada 300

Medición de los cilindros 301

Mundo técnico

El reacondicionamiento de un bloque de motor Alusil 302

14. El sistema de lubricación 304

1 Lubricación 306

2 Aceite de motor 307

3 Sistema de lubricación del motor 314

Actividades finales 326

Evalúa tus conocimientos 327

Práctica profesional

Circuito de engrase a presión 328

Mundo técnico

Aceites sintéticos vs. convencionales 330



15. Comprobación del sistema de lubricación	332
1 Mantenimiento del lubricante	334
2 Comprobación del sistema de lubricación	337
Actividades finales	340
Evalúa tus conocimientos	341
Práctica profesional	
Prueba de la presión en el circuito de engrase	342
Mundo técnico	
El excesivo consumo de aceite y sus causas	344
16. El sistema de refrigeración	346
1 Función de la refrigeración	348
2 Refrigeración por aire	349
3 Refrigeración por agua	351
Actividades finales	364
Evalúa tus conocimientos	365
Práctica profesional	
Circuito eléctrico del electroventilador	366
Mundo técnico	
Componentes de una bomba de agua	368
17. Comprobación del sistema de refrigeración	370
1 Averías en la refrigeración	372
2 Comprobaciones	373
Actividades finales	380
Evalúa tus conocimientos	381
Práctica profesional	
Circuito de refrigeración	382
Comprobaciones en el circuito de refrigeración	383
Mundo técnico	
Módulo de refrigeración del motor BMW modelo E87	384
18. El motor de dos tiempos	386
1 Características principales	388
2 El motor Otto de dos tiempos	388
3 Principales componentes del motor de dos tiempos	397
4 El motor Diesel de dos tiempos	401
Actividades finales	404
Evalúa tus conocimientos	405
Práctica profesional	
Desmontaje de un motor de dos tiempos refrigerado por aire	406
Montaje del cigüeñal en un motor de dos tiempos	407
Mundo técnico	
Motor de 2 tiempos. Admisión	408
19. El motor rotativo Wankel	410
1 Características	412
2 Constitución	412
3 Funcionamiento del motor rotativo	416
Actividades finales	420
Evalúa tus conocimientos	421
Práctica profesional	
Características del motor rotativo Wankel	422
Mundo técnico	
Motor Wankel	424
20. Vehículos híbridos y eléctricos	426
1 Vehículos híbridos y eléctricos	428
2 Vehículo híbrido eléctrico	428
3 Vehículo de propulsión eléctrica	433
Actividades finales	436
Evalúa tus conocimientos	437
Práctica profesional	
Características técnicas de los nuevos vehículos híbridos y eléctricos	438
Mundo técnico	
La batería de iones de litio	440

CÓMO SE USA ESTE LIBRO

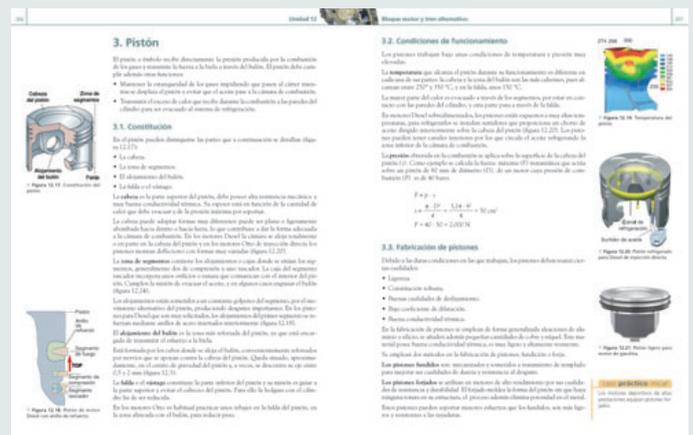
Cada unidad de este libro comienza con un **caso práctico inicial**, que plantea una situación relacionada con el ejercicio profesional y vinculado con el contenido de la unidad de trabajo. Pretende que comprendas la utilidad de lo que vas a aprender. Consta de una situación de partida y de un estudio del caso, que o bien lo resuelve o da pistas para su análisis a lo largo de la unidad.

El caso práctico inicial se convierte en **eje vertebrador de la unidad** ya que se incluirán llamadas que hagan referencia a ese caso concreto, a lo largo del desarrollo de los contenidos.

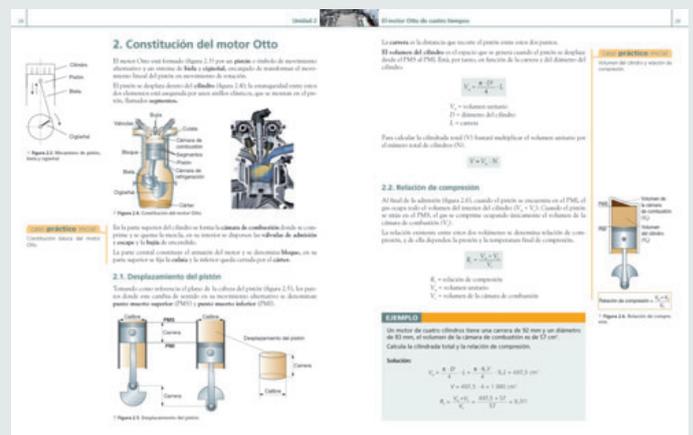


El desarrollo de los contenidos aparece ordenado en epígrafes y subepígrafes y acompañado de numerosas ilustraciones, seleccionadas de entre los equipos y herramientas más frecuentes que te vas a encontrar al realizar tu trabajo.

En los márgenes aparecen textos que amplían los contenidos y llamadas al caso práctico inicial.



A lo largo del texto se incorporan **ejemplos**, con numerosas actividades planteadas y desarrolladas que ayudan a asimilar los conceptos tratados y por otra parte, a aprender a realizar ciertos cálculos teóricos necesarios para conocer el funcionamiento y las características técnicas de los motores.



IMPORTANTE

Todas las actividades propuestas en este libro deben realizarse en un cuaderno de trabajo, nunca en el propio libro.

Como cierre de la unidad se proponen una serie de **actividades finales** para que apliques los conocimientos adquiridos y, a su vez, te sirvan como repaso.

El apartado **evalúa tus conocimientos** consiste en una batería de preguntas que te permitirán comprobar el nivel de conocimientos adquiridos tras el estudio de la unidad.

En la sección **práctica profesional** se plantea el desarrollo de un caso práctico, en el que se describen las operaciones que se realizan, se detallan las herramientas y el material necesario, y se incluyen fotografías que ilustran los pasos a seguir.

Estas prácticas profesionales representan los resultados de aprendizaje que debes alcanzar al terminar tu módulo formativo.

La sección **mundo técnico** versa sobre información técnica de este sector y vinculada a la unidad. Es importante conocer las últimas innovaciones existentes en el mercado y disponer de ejemplos en la vida real de las aplicaciones de los contenidos tratados en la unidad.

La unidad finaliza con el apartado **en resumen**, mapa conceptual con los conceptos esenciales de la unidad.

Además, se incluyen en el apartado **entra en Internet** una serie de actividades para cuya resolución es necesario consultar diversas páginas web sobre componentes y equipos.

1

Motores y seguridad en el taller

vamos a conocer...

1. Historia del motor
2. El motor térmico de combustión interna
3. Clasificación de los motores de combustión interna
4. Motor eléctrico
5. Seguridad en el taller de motores

PRÁCTICA PROFESIONAL

Identificar diferentes tipos de motores
Determinar los equipos de protección necesarios en el taller de motores

MUNDO TÉCNICO

Buenas prácticas medioambientales

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás brevemente la historia del motor térmico de combustión interna.
- Clasificarás los diferentes tipos de motores de combustión interna.
- Conocerás las medidas de protección y prevención para evitar riesgos

CASO PRÁCTICO INICIAL

situación de partida

Julio es el encargado de organización en un Centro Autorizado de Tratamiento (CAT). Estos centros sustituyen a los antiguos desguaces y cuentan con las instalaciones necesarias para dar un tratamiento correcto a los vehículos fuera de uso según los requisitos que marca la Ley.

Cuando un vehículo llega al CAT es sometido en primer lugar a un tratamiento de descontaminación, que consiste en retirar todos los líquidos y los elementos que puedan ser contaminantes o peligrosos. Estos son los aceites, combustibles, anticongelantes, líquido de frenos, filtros, baterías, etc.

En una segunda fase se desmontan las piezas que sean válidas para su venta como recambio usado, los demás elementos (metales, plásticos, etc.) serán trasladados a otros centros para su procesamiento y reciclado.

Los líquidos son extraídos sin que haya derrames, se almacenan en recipientes adecuados y se etiquetan a la espera de ser recogidos para su posterior tratamiento.

Además de supervisar estas tareas, Julio se encarga de suministrar y mantener los equipos de protección individual que utilizan los operarios (gafas, guantes, botas, ropa de trabajo...) mantener la correcta señalización en las instalaciones y hacer el mantenimiento de las herramientas y equipos de trabajo.

Las piezas destinadas a la venta son clasificadas y almacenadas. El encargado de la zona de motores organiza esta sección primero por marca y modelo, después los clasifica según los siguientes criterios:

- Motores de gasolina y motores Diesel.
- Por el número de cilindros y su disposición.
- Motores de motocicletas de dos y cuatro tiempos.
- Motores rotativos.

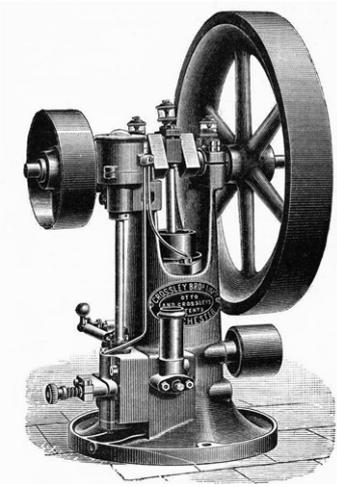
Para el traslado de elementos pesados se utilizan carretillas elevadoras movidas por motores eléctricos.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Sabes lo que es un plan de mantenimiento?
2. ¿Sabrías nombrar algunos residuos peligrosos que se generan en el taller de motores?
3. ¿Qué transformación de energías se realiza en un motor térmico?
4. ¿Qué se entiende por motor de combustión interna?
5. ¿Cómo se pueden clasificar los motores de combustión interna?
6. ¿Sabrías definir un vehículo híbrido?

1. Historia del motor



↑ **Figura 1.1.** Motor Otto de 1899.

El motor de combustión interna se desarrolla como una evolución de la máquina de vapor. En este motor el trabajo se obtiene por la combustión interna de una mezcla de aire y combustible, a diferencia de la máquina de vapor, que aprovecha la presión del vapor de agua que se produce por una combustión externa.

El primer motor de combustión interna fue construido por el francés **Etienne Lenoir** en 1863. Este motor fue mejorado notablemente por el alemán **Nikolaus Otto** que, en 1876, inventó el primer motor que funcionaba con el ciclo de cuatro tiempos. En su honor este motor de explosión se denomina **motor Otto**.

En 1878, el escocés **Dugald Clerk** construye el primer motor de dos tiempos. En 1885, **Daimler** monta sobre un vehículo de dos ruedas un motor de gasolina de alta velocidad desarrollado por el ingeniero **Maybach**. Esta es la primera motocicleta del mundo.

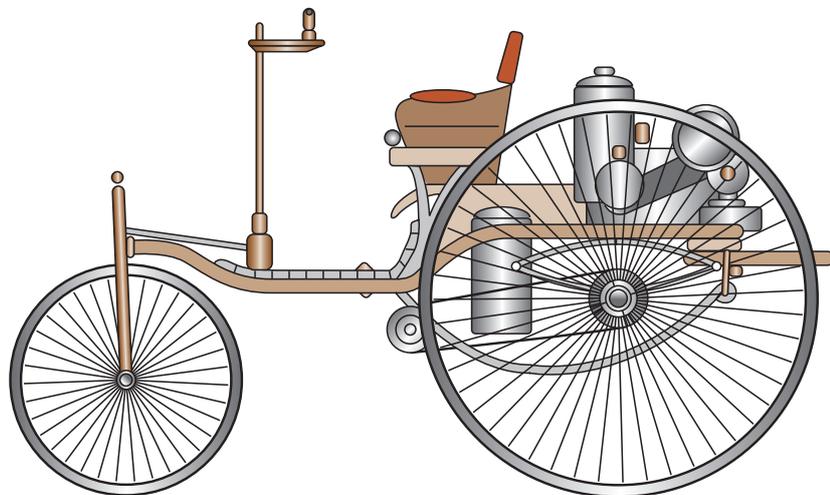
En 1886, **Karl Benz** construye el primer automóvil de tres ruedas. Ese mismo año Daimler aplica el motor de **Maybach** sobre un carruaje de cuatro ruedas. La historia del automóvil había comenzado.

En 1892, el alemán **Rudolf Diesel** inventa un motor que funciona con combustibles pesados y no necesita sistema de encendido, que se llamará motor Diesel. Cinco años después, en 1897, se construye el primero de estos motores. Será aplicado en un camión por primera vez en el año 1923, aunque ya en 1912 se había montado en una locomotora.

En 1904 se fabrica en Barcelona el primer automóvil de la marca La Hispano-Suiza. Está equipado con un motor de cuatro cilindros y 20 CV de potencia.

En 1957, el alemán **Felix Wankel** prueba con éxito un nuevo motor de pistón rotativo que es conocido con el nombre de su inventor, **motor Wankel**.

En el año 1997 la marca Toyota comercializa en Japón el primer vehículo híbrido, el Prius. A partir del año 2000 comienza a venderse en otros mercados. Este vehículo es propulsado por un motor de gasolina y un motor eléctrico.



↑ **Figura 1.2.** Automóvil construido por Benz en 1886.

2. El motor térmico de combustión interna

Se denomina así al motor que transforma la energía térmica en energía mecánica mediante la combustión de una mezcla de aire y carburante que se quema interiormente generando un trabajo mecánico.

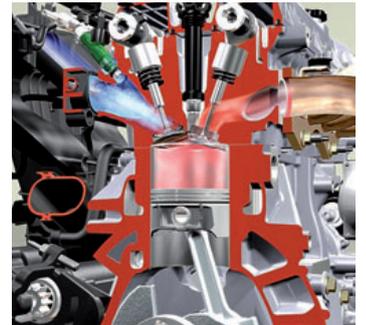
Los motores térmicos de combustión interna empleados en automoción deben reunir una serie de cualidades:

- Buen rendimiento, es decir, que transforme en trabajo buena parte de la energía que produce la combustión.
- Bajo consumo con relación a su potencia.
- Gases de escape poco contaminantes.
- Fiabilidad y durabilidad.
- Bajo coste de fabricación y mantenimiento.

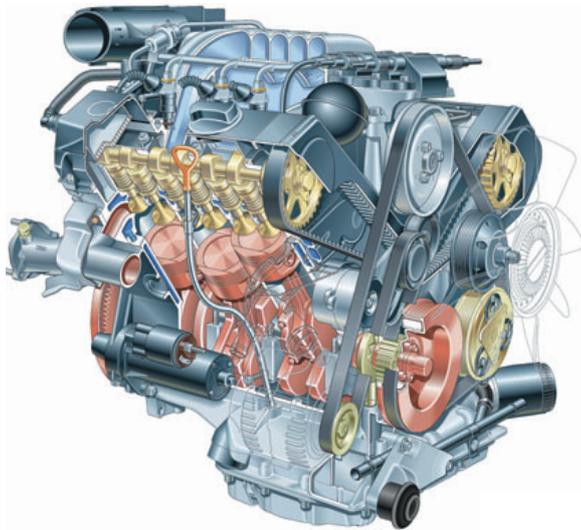
3. Clasificación de los motores de combustión interna

Los motores de combustión interna se pueden clasificar atendiendo a diferentes aspectos:

- **Por la forma de iniciar la combustión:**
 - Motores Otto.
 - Motores Diesel.
- **Por el ciclo de trabajo:**
 - Motores de 4 tiempos.
 - Motores de 2 tiempos.
- **Por el movimiento del pistón:**
 - Motores de pistón alternativo.
 - Motores de pistón rotativo.



↑ **Figura 1.3.** Motor Otto de cuatro tiempos.



← **Figura 1.4.** Motor Otto de seis cilindros en V.

3.1. Motor Otto

También llamado motor de explosión o motor de encendido provocado (MEP).

Consume generalmente una mezcla de aire y gasolina que se prepara en el exterior de la cámara de combustión. La mezcla se inflama por una chispa eléctrica que proporciona un sistema de encendido externo.

Soporta presiones moderadas, por lo que sus componentes son ligeros y pueden alcanzar un alto número de revoluciones.

Consiguen su potencia máxima entre 5.000 y 7.000 revoluciones por minuto (rpm).

Su volumen unitario oscila entre 250 y 500 cm³ por cilindro.

3.2. Motor Diesel

También llamado motor de encendido por compresión (MEC).

Consume combustibles pesados como el gasóleo. La mezcla se realiza en el interior de la cámara de combustión, y se inflama al inyectar el combustible sobre el aire calentado por la fuerte compresión.

Las presiones que se producen son muy elevadas y sus componentes han de ser robustos y pesados por lo que el número de revoluciones queda limitado.

- **Los Diesel rápidos** pueden alcanzar las 5.500 rpm.
La cilindrada unitaria está entre 400 y 600 cm³ por cilindro.
Se emplean en automóviles y vehículos industriales ligeros.
- **Los Diesel lentos** giran entre 900 y 2.000 rpm.
Tienen un volumen de hasta 2 litros por cilindro.
Se montan en camiones, autobuses, locomotoras, barcos y maquinaria pesada.

3.3. Motor de cuatro tiempos

Puede ser Diesel o de explosión (Otto).

Su ciclo de trabajo se desarrolla en cuatro tiempos –admisión, compresión, expansión y escape– durante dos vueltas completas de cigüeñal.

El intercambio de gases es controlado por válvulas que abren y cierran los conductos de admisión y escape.

3.4. Motor de dos tiempos

Existen motores de dos tiempos Otto y Diesel.

En este motor los procesos de carga, compresión, combustión y expulsión de los gases se realiza en dos carreras del pistón, o sea, en una vuelta de cigüeñal.

El intercambio de gases se realiza por medio de lumbreras controladas por el pistón en su desplazamiento.



↑ **Figura 1.5.** Motor Diesel.

caso práctico inicial

Los motores son clasificados para su almacenamiento.

Los motores Otto de dos tiempos equipan las motocicletas de pequeña cilindrada, hasta 350 cm³.

Los Diesel de dos tiempos de grandes cilindradas se usan como propulsión marina y giran entre 80 y 200 rpm.

3.5. Motores de pistón alternativo

Estos motores transmiten el trabajo mediante pistones, que se desplazan con un movimiento lineal alternativo y es transformado en movimiento de rotación mediante un sistema de biela-manivela.

Número de cilindros usados habitualmente:

- Motocicletas de 1 a 4.
- Automóviles de 2 a 6 en línea y de 6 a 8 en V.
- Camiones de 4 a 6 en línea y de 6 a 12 en V.



↑ Figura 1.6. Motor de pistón alternativo.

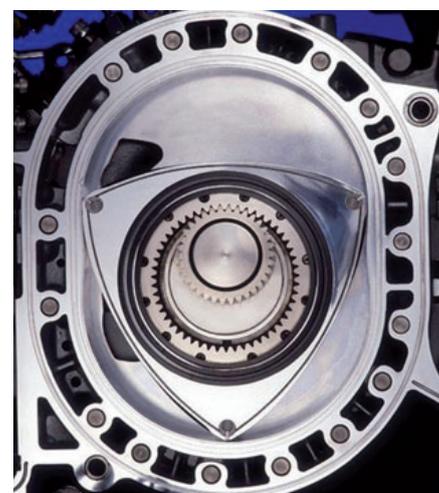
3.6. Motor de pistón rotativo

También conocido como motor Wankel.

El movimiento rotativo se genera directamente en un pistón de sección triangular que gira dentro de una carcasa formando tres cámaras.

Funciona siguiendo el ciclo de cuatro tiempos de un motor Otto. No posee válvulas ya que la admisión y el escape se realiza por lumbreras.

Su empleo actual en automoción es muy limitado.



↑ Figura 1.7. Motor rotativo.

4. Motor eléctrico

El motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Al ser alimentado por una corriente eléctrica se obtiene un movimiento giratorio en su eje.

Los motores eléctricos se han aplicado a la tracción en trenes y tranvías (conectados a la red eléctrica) y en vehículos que se utilizan en recintos cerrados: vehículos de servicio de aeropuertos, campos de golf o carretillas elevadoras. En estos casos disponen de acumuladores que es necesario recargar.

Actualmente se está generalizando el desarrollo y comercialización de vehículos eléctricos y vehículos híbridos para uso particular y de transporte.

Para ello ha sido necesario diseñar dispositivos de control electrónico para los motores y acumuladores eléctricos de gran capacidad.

Los vehículos totalmente eléctricos utilizan el motor eléctrico como único propulsor.

Lo vehículos híbridos combinan un motor térmico y otro eléctrico.



↑ Figura 1.8. Motor eléctrico.



↑ **Figura 1.9.** Señales de incendios y evacuación.



↑ **Figura 1.10.** Señales de peligro.



↑ **Figura 1.11.** Señales de obligación.

5. Seguridad en el taller de motores

Se entiende por prevención de riesgos al conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.

Formación e información

- La formación del trabajador crea hábitos de actuación en el trabajo correctos que evitan los riesgos derivados del mismo.
- La información tiene como objetivo que el trabajador conozca los riesgos de su puesto, así como todos los medios y política preventiva de la organización con el fin de alcanzar su participación e implicación en estos objetivos reduciendo así la posibilidad de que este sufra un accidente de trabajo.

La normativa vigente sobre seguridad y salud en el trabajo está contenida en la **Ley 31/1995 de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales** que establece las condiciones para conseguir un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores. Contempla los derechos, obligaciones y responsabilidad de los trabajadores, así como los deberes y obligaciones empresariales.

5.1. Condiciones del lugar de trabajo y mantenimiento

Las condiciones ambientales en el taller de motores sobre temperatura, humedad, ventilación, iluminación y ruido serán las establecidas en las normativas legales.

Para evitar la contaminación del aire, el taller estará suficientemente ventilado o bien dispondrá de un sistema extractor de humos que sea conectable al tubo de escape de los motores.

Estará dotado con material de primeros auxilios y dispondrá de servicios higiénicos.

Señalización

Se mantendrá debidamente señalizado:

- Las salidas de emergencia y la situación de los extintores (figura 1.9).
- Los lugares donde existan materiales inflamables, corrosivos o peligrosos, las zonas con riegos de descargas eléctricas y los lugares en los que no está permitido fumar o encender fuego (figura 1.10).
- Las zonas donde es obligatorio el uso de equipos de protección individual para los ojos, los oídos, las manos, los pies o las vías respiratorias (figura 1.11).

Mantenimiento

Las instalaciones del taller tales como instalación eléctrica, de protección contra incendios, de aire comprimido, de extracción de humos, elevadores, grúas, gatos hidráulicos, herramientas y demás máquinas y equipos de trabajo estarán sometidas a un mantenimiento periódico con el fin de conservarlas en perfectas condiciones de uso.

Orden y limpieza en el taller

- Mantener el puesto de trabajo limpio y ordenado.
- Limpiar y guardar la herramienta después de su uso.

- No dejar objetos en el suelo, mantener libres las zonas de paso y salidas de emergencia.
- No bloquear el acceso a extintores y mangueras contra incendios.
- Limpiar con rapidez las manchas de líquidos y productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.

5.2. Equipos de protección individual (EPI)

Estos equipos están destinados a ser llevados por el trabajador para que le proteja de los riesgos que puedan amenazar su seguridad. La elección del EPI en el taller de motores dependerá de las partes del cuerpo que pueden resultar afectadas que, por lo tanto, es preciso proteger (figura 1.12).

Se revisarán periódicamente y se sustituirán los equipos que sean defectuosos. Se darán instrucciones periódicas sobre el uso y mantenimiento de los EPI.

Cada equipo de protección debe llevar el marcado «CE» y un folleto informativo.

- **Gafas de protección.** Protegen los ojos de salpicaduras de líquidos o proyección de partículas.
- **Protección de manos.**
 - Guantes contra agresiones químicas: protegen la piel del contacto con productos peligrosos.
 - Guantes contra agresiones mecánicas: protegen de perforaciones o cortes.
- **Protección de pies.** Calzado de seguridad contra riesgos mecánicos con protección frente a los impactos o aplastamiento
- **Protectores auditivos.** Reducen el nivel de presión acústica para no dañar el aparato auditivo.

Otros EPI de uso ocasional para proteger la cabeza o las vías respiratorias.

caso práctico inicial

Los EPI estarán a disposición del trabajador y en buenas condiciones de uso.



↑ **Figura 1.12.** Equipos de protección individual (EPI).

5.3. Riesgos en el taller de motores

Para evitar accidentes se deben de mantener en buen estado de conservación los materiales y equipos, se manipularán de manera correcta y se pondrán en práctica las medidas de prevención y de protección, tanto colectivas como individuales.

Riesgos originados por los factores mecánicos ambientales:

- Lesiones originadas en el trabajador por elementos móviles de las máquinas (golpes, cortes, atrapamientos, etc.).
- Lesiones originadas por herramientas manuales o mecánicas (golpes y cortes), lesiones oculares, esguinces, etc.
- Lesiones originadas por aplastamientos, caídas de o desde aparatos elevadores, vuelco de vehículos, etc.

Uso de herramientas manuales

- Conservar las herramientas en buen estado, reemplazar las que sean defectuosas. El mal estado de las herramientas o un uso incorrecto de estas puede provocar lesiones.
- Utilizar la herramienta más adecuada al trabajo que se va a realizar.
- Usar guantes de protección.

Riesgos:

- Heridas y contusiones en las manos.
- Golpes producidos por las herramientas.
- Proyecciones de fragmentos o partículas.
- Contactos eléctricos.

Elevación, manejo y traslado de objetos pesados

La elevación de vehículos, el movimiento y traslado de motores, cajas de cambio o cualquier otro objeto pesado se llevará a cabo, siempre que sea posible, con medios mecánicos seguros: elevadores, grúas o gatos hidráulicos.

Estos equipos se someterán a revisiones periódicas para mantenerlos en perfectas condiciones de uso. Nunca se usarán con cargas que superen su capacidad de elevación. Establecer la prohibición de situarse debajo de cargas suspendidas.

Los **elevadores para vehículos** dispondrán de un sistema de enclavamiento que impida un descenso no deseado. Antes de elevar el vehículo es necesario asegurar los puntos de apoyo y centrar el peso del vehículo sobre el elevador.

Riesgos:

- Caída de objetos suspendidos.
- Atrapamientos y aplastamientos.
- Choques y golpes.

caso práctico inicial

Hay que cuidar el manejo de cargas pesadas en el taller y vigilar las revisiones periódicas de los elevadores, gatos hidráulicos, etc.

El **movimiento y traslado manual de cargas** se hará con el objeto pegado al cuerpo y en posición erguida. Si la carga es muy pesada (superior a 25 kg), se levantará entre varias personas.

Riesgos:

- Cortes y heridas en las manos.
- Atrapamientos en dedos y manos.
- Caída de objetos.
- Caída de personas al mismo nivel y tropiezos.
- Sobreesfuerzos y lesiones musculares.

Manipulación de productos químicos

En el taller de motores se usan productos químicos tales como aceites, combustibles o disolventes. Estos productos tienen que permanecer correctamente etiquetados con los pictogramas que describen su peligrosidad.

El manejo de productos inflamables implica la creación de un área de seguridad debidamente señalizado con la prohibición de fumar, hacer fuego o utilizar máquinas que desprendan chispas.

En caso de producirse derrames de productos químicos se tratarán con materiales absorbentes para después eliminarlos como residuos.

Utilizar guantes y gafas de protección.

Riesgos:

- Incendio y explosión.
- Daños en los ojos.
- Daños en la piel.

Riesgos en la manipulación de motores en funcionamiento

- Contacto con elementos móviles como correas o el ventilador.
- Contacto con partes calientes como el colector de escape o la culata.
- Contacto eléctrico con la alta tensión del circuito de encendido.
- Inhalación de gases tóxicos de la combustión. Se debe de conectar un extractor de humos en el tubo de escape y mantener el taller bien ventilado.

5.4. Almacenamiento temporal de residuos

Todos los residuos peligrosos generados en el taller de motores deben ser depositados en recipientes adecuados y almacenados para su posterior recogida por los servicios autorizados.

Los residuos más comunes son: anticongelantes, aceites usados, filtros de aceite, de aire, de combustible o del habitáculo, y papel de limpieza impregnado de aceite o combustible.

Para prevenir la contaminación de las aguas o de los suelos está prohibido el vertido o eliminación incontrolada de residuos y productos peligrosos.

caso práctico inicial

Los residuos peligrosos se almacenan en envases adecuados y son etiquetados para identificar los productos que contienen.

ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿En qué años se empezaron a construir los primeros motores de combustión interna?
- 2. Cita todas las clases de motores que conozcas.
- 3. ¿Qué aplicaciones tiene el motor de combustión interna además de los automóviles?
- 4. ¿Cuántas vueltas gira el cigüeñal de un motor de cuatro tiempos en cada ciclo y cuántas un motor de dos tiempos?
- 5. ¿Cómo se pueden clasificar los motores por el ciclo de trabajo que desarrollan? ¿Y por la forma de iniciar la combustión?
- 6. ¿Qué cilindradas unitarias se usan en los motores Otto?
- 7. ¿Qué tipo de motor Diesel se utiliza en los vehículos pesados?
- 8. Investiga en qué marca y modelo de automóvil se monta actualmente un motor rotativo.
- 9. Busca información en revistas, libros o en Internet y describe brevemente el tipo de motor que se utiliza en cada uno de los siguientes casos:
 - Motores para locomotoras.
 - Motores para grandes embarcaciones.
 - Motores para pequeños aviones.
 - Motores para motosierras.
 - Motores para embarcaciones fueraborda.
- 10. Recopila información sobre varios vehículos impulsados por motor eléctrico, describe sus características más destacables: potencia, autonomía, tipo de baterías, emisiones contaminantes etc. Compara estos datos con los de un motor térmico de similares características y describe las ventajas e inconvenientes de cada uno.
- 11. Identifica la señalización que existe en el taller de motores:

Señales de peligro, de prohibición, de incendios y evacuación.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Quién construyó en 1876 el primer motor que funcionaba con el ciclo de cuatro tiempos?

- a) Rudolf Diesel.
- b) Nikolaus Otto.
- c) Karl Benz.
- d) Dugald Clerk.

2 ¿En qué año se instala por primera vez en un camión un motor Diesel?

- a) En 1878.
- b) En 1885.
- c) En 1912.
- d) En 1923.

3 ¿Qué cualidades deben reunir los motores de combustión interna empleados en automoción?

- a) Buen rendimiento, bajo consumo y poca contaminación.
- b) Fiabilidad y durabilidad.
- c) Bajo coste de fabricación y mantenimiento.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

4 ¿Cómo se clasifican los motores por la forma de iniciar la combustión?

- a) En Otto y Diesel.
- b) En cuatro tiempos y dos tiempos.
- c) En rotativos y alternativos.
- d) En turboalimentados y atmosféricos.

5 ¿Qué otro nombre recibe el motor Diesel?

- a) Motor turbodiesel.
- b) Motor Otto.
- c) Motor de encendido por compresión.
- d) Motor de inyección.

6 ¿Qué volumen unitario suele emplearse en los motores Diesel rápidos?

- a) Entre 250 y 500 cm³.
- b) Entre 400 y 600 cm³.
- c) Entre 500 y 1.000 cm³.
- d) Entre 600 y 2.000 cm³.

7 El motor Otto de dos tiempos:

- a) Posee lumbreras y sistemas de encendido.
- b) Tiene válvulas y sistema de encendido.
- c) Realiza el encendido por compresión.
- d) No tiene ni sistema de encendido ni válvulas.

8 ¿A qué número de revoluciones consiguen su potencia máxima los Diesel lentos?

- a) Entre 900 y 2.000 rpm.
- b) Entre 3.000 y 4.000 rpm.
- c) Entre 4.000 y 5.000 rpm.
- d) Entre 5.000 y 7.000 rpm.

PRÁCTICA PROFESIONAL

MATERIALES

- Diferentes motores
- Documentación técnica

Identificar diferentes tipos de motores

OBJETIVO

Examinar y clasificar los motores que hay en el taller.

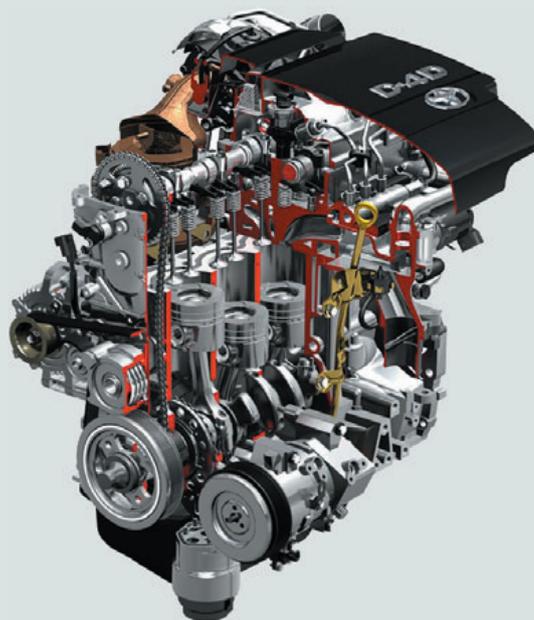
DESARROLLO

1. Se seleccionan varios motores del taller con características diferentes, como por ejemplo los siguientes, y se toma de la documentación técnica algunos datos que nos permitan clasificar cada motor:

- Motor Otto de cuatro tiempos. 4 cilindros en línea. 1.360 cm³ de cilindrada. Relación de compresión 9,3 / 1. Potencia máxima 75 CV a 5.800 rpm.
- Motor Diesel de cuatro tiempos. Inyección directa. 4 cilindros en línea. Cilindrada 1.870 cm³. Relación de compresión 19 / 1. Potencia máxima 120 CV a 4.000 rpm.
- Motor Diesel de cuatro tiempos. Inyección indirecta. 4 cilindros en línea. Cilindrada 1.902 cm³. Relación de compresión 23 / 1. Potencia máxima 69 CV a 4.600 rpm.
- Motor Otto de dos tiempos refrigerado por aire. Un solo cilindro de 50 cm³. Relación de compresión 8 / 1.



↑ Figura 1.13. Motor Otto.



↑ Figura 1.14. Motor Diesel.

Determinar los equipos de protección necesarios en el taller de motores

OBJETIVO

Conocer las características de los equipos de protección y su uso correcto.

DESARROLLO

- Elabora una lista con los equipos de protección que se emplean en diferentes operaciones:
 - Guantes contra agresiones químicas para manipulación de aceites, combustibles o anticongelantes.
 - Guantes contra agresiones mecánicas para operaciones de montaje, desmontaje y manipulación de elementos.
 - Gafas para cambio de líquidos del motor, limpieza de motores o cuando exista riesgo de proyección de partículas.
 - Calzado de seguridad en operaciones de levantamiento y traslado de motores.
- Comprueba que los EPI llevan el marcado CE y que van acompañados de un folleto informativo.

Ejemplo de marcado CE

EUQUPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

CUADRO 1

ELEMENTOS OBLIGATORIOS A FACILITAR AL USUARIO

1. MARCADO "CE"



A = EPI categorías I y II
A + B = EPI categoría III

B = Código de cuatro dígitos identificativos, en el ámbito de la UE, del organismo que lleva a cabo el control de aseguramiento de la calidad de la producción.

2. FOLLETO INFORMATIVO

- Instrucciones de almacenamiento, uso, limpieza, mantenimiento, revisión y desinfección.
- Rendimientos técnicos alcanzados en los exámenes técnicos dirigidos a la verificación de los grados o clases de protección de los EPI.
- Accesorios que se puedan utilizar en los EPI y características de las piezas de repuesto adecuadas.
- Clases de protección adecuadas a los diferentes niveles de riesgo y límites de uso correspondientes.
- Fecha o plazo de caducidad de los EPI o de alguno de sus componentes.
- Tipo de embalaje adecuado para transportar los EPI.
- Explicación de las marcas, si las hubiere.
- En su caso, las referencias de las disposiciones aplicadas para la estampación del marcado "CE", cuando al EPI le son aplicables, además, disposiciones referentes a otros aspectos y que conlleven la estampación del referido marcado.
- Nombre, dirección y número de identificación de los organismos de control notificados que intervienen en la fase de diseño de los EPI.

↑ Figura 1.17.

EUQUPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Un ejemplo de folleto informativo puede ser el siguiente:

EJEMPLO DE FOLLETO INFORMATIVO

HOJA DE CARACTERÍSTICAS

Guantes de protección mecánica y térmica, para soldadores



ORGANISMO NOTIFICADO Nº XXXX

Descripción y composición:

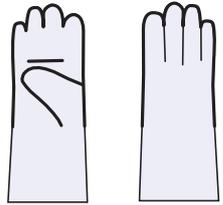
- Guante de 5 dedos
- Cuero serraje crupón curtido al cromo, de aproximadamente 1,5 mm, extra-flexible
- Protección en costuras
- Totalmente forrado
- Manga larga, con el dorso de una sola pieza

Talla:

- Unica

Mantenimiento:

- Cuando su estado lo aconseje, el guante puede lavarse industrialmente en seco



Niveles de protección según Normas Europeas

<p>Mecánica según EN 388</p>  <p>A B C D</p> <p>A- Resistencia a la ABRASIÓN XXXX idios. NIVEL X B- Resistencia al CORTE Factor XXXX. NIVEL X C- Resistencia al DESGARRO XXXX Newton. NIVEL X D- Resistencia a la PENETRACIÓN XXXX Newton. NIVEL X</p>	<p>Térmica según EN 407</p>  <p>A B C D E F</p> <p>A- INFLAMABILIDAD: NIVEL X B- Calor por CONTACTO: xx seg (xxxx) NIVEL X C- Calor CONVECTIVO: HTI xx seg NIVEL X D- Calor RADIANTE: 1/2 xx seg NIVEL X E- Salpicaduras de METAL FUNDIDO: >xx gotas NIVEL X F- Gran proyección de metal fundido: No adecuado frente a este riesgo</p>
---	---

Este guante está especialmente indicado para ser utilizado en los trabajos tipo soldador o similar, donde se requiera una buena protección mecánico / térmica, manteniendo un buen nivel de confort.

NO DEBE USARSE este tipo de guantes en puestos de trabajo donde el riesgo a cubrir supere los niveles de prestaciones alcanzados según EN 388 y EN 407, o cuando se trate de riesgos no mecánicos o térmicos (p.e. químicos, eléctricos, etc.)

HERRAMIENTAS

- Equipos de protección con sus hojas de características



↑ Figura 1.15.



↑ Figura 1.16.

MUNDO TÉCNICO

Buenas prácticas medioambientales

Al iniciar acciones para minimizar los residuos o las emisiones, generalmente se plantea como primera actuación el cambio técnico de los procesos: sustitución de materiales, modificación de equipos o diseño de nuevos productos. Pero no siempre se reflexiona sobre la posibilidad de reducir el impacto ambiental negativo a través de cambios en la organización de los procesos y las actividades; es decir, a través de las buenas prácticas medioambientales

Residuos

Uno de los residuos peligrosos más importante en la reparación y revisión de vehículos es el que se produce en el cambio de aceites hidráulicos y grasas de maquinaria que pierden sus propiedades de uso. Su vertido contamina el suelo, por ello es conveniente mantener limpio el puesto de trabajo.

Tratamientos adicionales: limpiezas, desengrasas, cambios de líquidos, filtros, baterías, aceites...

Limpieza

En la limpieza de los motores deben recogerse todos los posibles derrames de lodos con disolventes o combustible y tratarlos como residuos peligrosos.

Se recomienda instalar un sistema de retención del agua residual generada en la operación de limpieza de vehículos con el fin de separar los aceites antes del vertido a alcantarillado.

Cambios de líquidos

Si se extreman las precauciones al rellenar los niveles de aceites y otros líquidos de los vehículos se reduce el riesgo de derrames que deterioran el suelo y cuya limpieza puede dar origen a la contaminación de las aguas.

Filtros y baterías

Los filtros obstruidos provocan un mayor consumo de energía, por ello se debe mantener siempre limpio el filtro de combustible. Estos elementos (filtros de aceite, de combustible, de aire,...) deben gestionarse como residuos peligrosos. Las baterías usadas son residuos peligrosos. Los gestores autorizados para su gestión pueden recuperar gran parte de las mismas (plástico y plomo) y dar el tratamiento adecuado a los ácidos agotados.

Aceites

Gestionar adecuadamente el aceite usado con los procedimientos actuales de reciclado permite obtener por cada litro de aceite 625 mL de lubricante nuevo (más de un 60%) con notable ahorro de energía. En España apenas se recupera 1 de cada 5 litros de aceite usado.

Una buena práctica consiste en evitar los derrames de aceite o sustancias lubricantes. En el caso de que se produzcan no deben limpiarse con agua, sino con material absorbente, como serrín. Algunos expertos calculan que el 40% de la contaminación de ríos y lagos procede del aceite usado de los motores.

Debe tenerse en cuenta que los textiles y cartones que han estado en contacto con aceites y grasas usadas son residuos peligrosos; por ello debe disponerse de contenedores para su recogida y posterior gestión.

Residuos

Los envases vacíos, ya sean de pinturas, desengrasantes, aditivos, colas... o de residuos impregnados de estas sustancias, deben clasificarse como residuos peligrosos, ya que han contenido sustancias contempladas como peligrosas en la legislación o bien han estado en contacto con ellas.

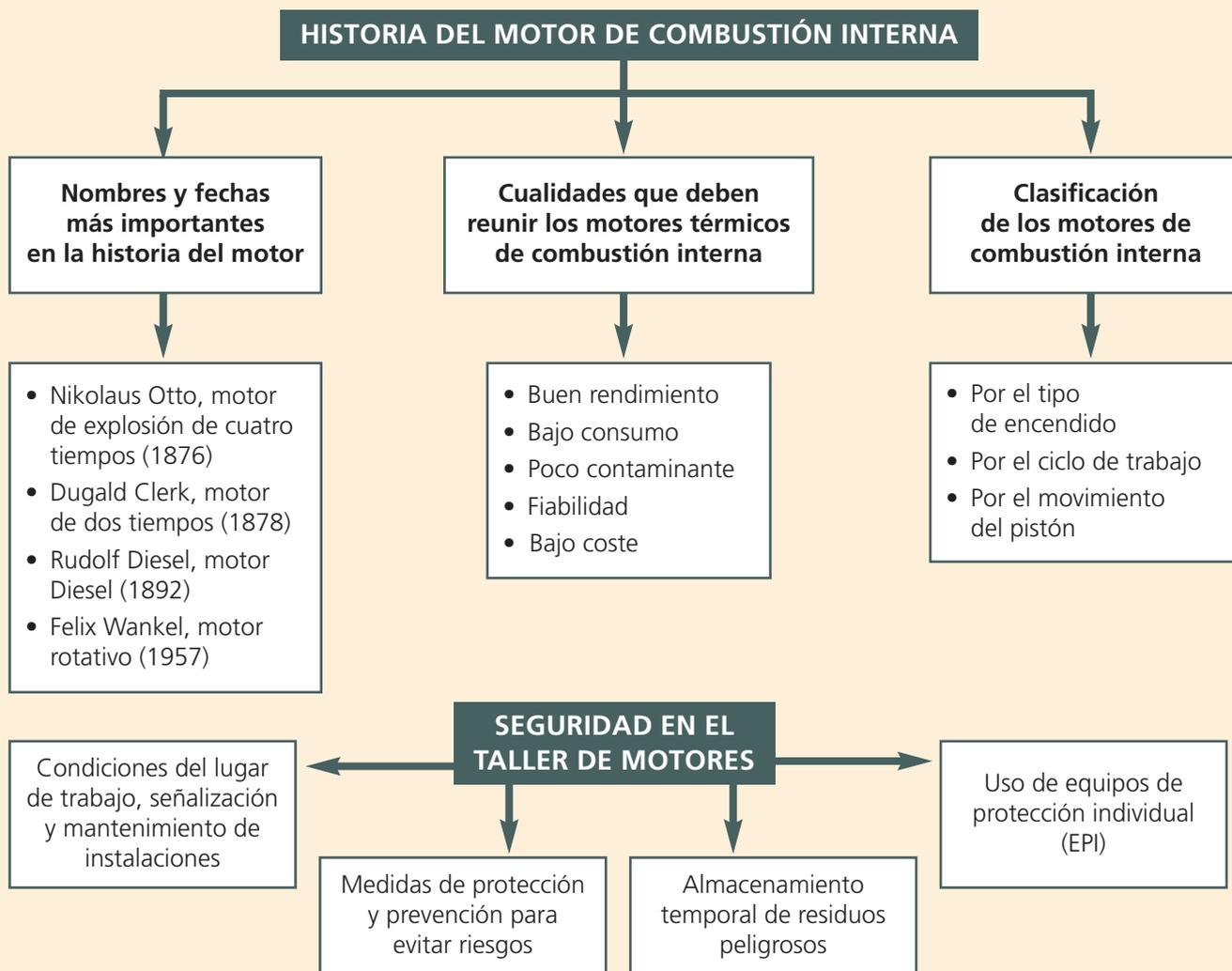
Conviene almacenar los residuos peligrosos en áreas cubiertas con suelo impermeabilizado, utilizar contenedores herméticos y evitar las mezclas de residuos que incrementan su peligrosidad.

Las zonas de almacenamiento de residuos peligrosos deben ubicarse lejos de arquetas, canaletas, sumideros o cualquier otro elemento del sistema de evacuación de aguas. De esta forma se evita que los derrames accidentales contaminen el agua.

Estos residuos no deben quedar a la intemperie, ya que el agua de lluvia arrastraría las sustancias peligrosas que contienen, contaminando el suelo y las aguas superficiales.

Los aceites usados, grasas, lubricantes y combustibles no deben ser nunca vertidos ni a la red de pluviales, ni a la de aguas negras de los talleres. Se deben acondicionar tanques para su recogida ya que se trata de residuos peligrosos.

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- www.elalmanaque.com/motor/historia.htm
- <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EM03903M.pdf>
- <http://eureka.ya.com/geoquimica/inventos/tema07.html>
- <http://www.insht.es/>
- <http://www.coepa.es/prevencion/guias/>
- <http://www.ibermutuamur.es/IMG/pdf/coleccionable08.pdf>
- <http://www.ugt.es/DatoBasico/prl08.pdf>
- <http://www.elergonomista.com/>
- <http://www.sprl.upv.es/msmecanico1.htm#p11>

2

El motor Otto de cuatro tiempos

vamos a conocer...

1. Características del motor Otto
2. Constitución del motor Otto
3. Funcionamiento del motor térmico de combustión interna
4. Motores Otto de cuatro tiempos

PRÁCTICA PROFESIONAL

Cálculo de la cilindrada de un motor
Diferencias en los diagramas teórico y práctico

MUNDO TÉCNICO

Inyección directa de gasolina



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las características y funcionamiento de los motores Otto de cuatro tiempos.
- Analizarás los ciclos teóricos y prácticos de los motores Otto de cuatro tiempos.
- Sabrás interpretar los diagramas de trabajo del motor Otto.
- Comprenderás los procesos de intercambio de gases y de combustión en los motores Otto.

situación de partida

Andrés trabaja como mecánico en un concesionario oficial de la marca Seat y le han seleccionado para realizar un curso de formación sobre los nuevos motores FSI. Se trata de motores Otto de inyección directa de gasolina, una nueva tecnología que se aplica en algunos automóviles de la marca.

Aunque todos los asistentes al curso conocen el funcionamiento del motor Otto, el ponente decide dedicar el primer día a refrescar los principios básicos de funcionamiento y las características más importantes de estos motores:

Constitución básica del motor, volumen del cilindro y relación de compresión, ciclo de funcionamiento de cuatro tiempos, diagramas teórico y práctico, encendido y combustión de la mezcla, intercambio de gases y diagrama de distribución.

Al día siguiente se trata el tema de los motores de inyección directa de gasolina, se resaltan sobre todo las principales diferencias en cuanto a constitución y funcionamiento con los clásicos motores de inyección indirecta. Las modificaciones principales afectan a los conductos de admisión y al sistema de inyección. El ciclo de funcionamiento del motor de inyección directa se diferencia del clásico en la forma de realizarse la mezcla y en el desarrollo de la combustión ya que puede funcionar de dos modos diferentes: en modo estratificado, con mezclas muy pobres, y en modo homogéneo, cuyo funcionamiento es similar al que se utiliza en los motores de inyección indirecta. Con estos motores se consigue aumentar el rendimiento y reducir el consumo. Pero, por trabajar con mezclas pobres, necesitan un nuevo catalizador para tratar la gran cantidad de óxidos de nitrógeno que emiten en el escape.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué tipos de mezcla de aire y combustible consumen los motores Otto de inyección indirecta? ¿Y los de inyección directa?
2. ¿Cómo se produce el encendido?
3. ¿Qué es la relación de compresión?
4. ¿Qué se entiende por intercambio de gases?
5. ¿Por qué son necesarias las cotas de distribución?
6. Aparte de la gasolina, ¿conoces otro combustible que se pueda usar en un motor Otto?



1. Características del motor Otto

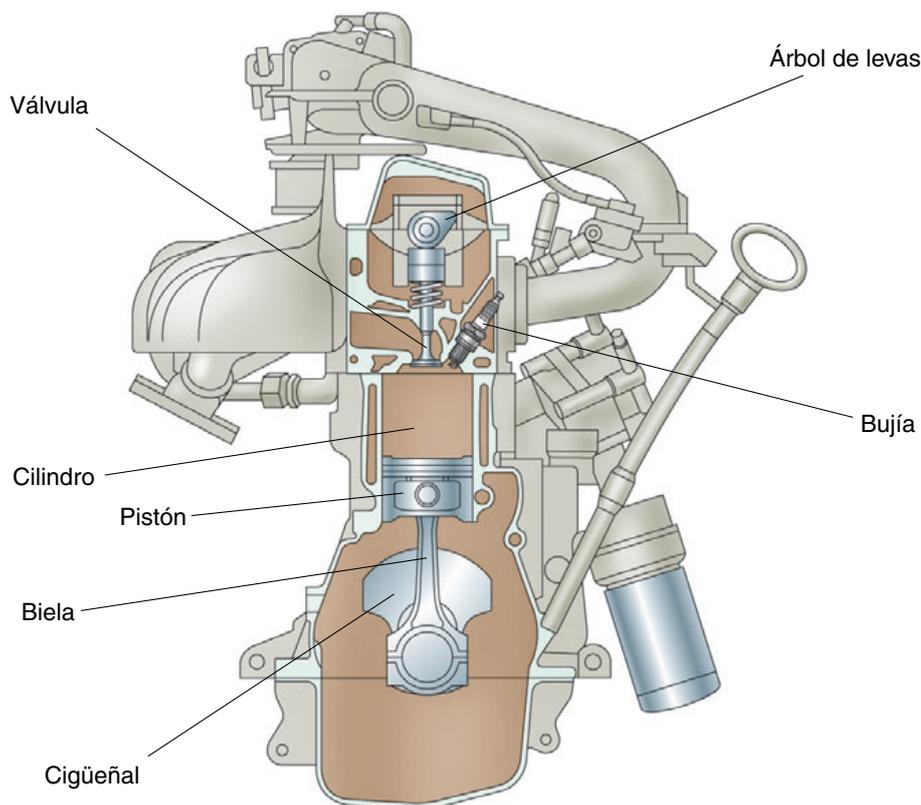
El motor Otto de cuatro tiempos pertenece al grupo de **motores térmicos de combustión interna** (figura 2.1). Consume una **mezcla de aire y combustible** que ha sido previamente preparada.

Dispone de un **sistema de encendido eléctrico**, cuya chispa inflama la mezcla que se encuentra comprimida en la cámara de combustión. Los procesos de **admisión de la mezcla** y posterior **expulsión de los gases quemados** están controlados por las válvulas, que abren y cierran los conductos correspondientes mandados por el **sistema de distribución**.

Su ciclo de funcionamiento se realiza en cuatro tiempos:

- **Admisión** de una mezcla de aire y combustible.
- **Compresión** de la misma.
- Encendido, **combustión y expansión**.
- **Escape** de los gases quemados.

Cada uno de estos cuatro tiempos se realiza en una carrera del pistón, equivalente a media vuelta de cigüeñal (180°). Por tanto, el ciclo se completa en dos vueltas de cigüeñal (720°).



→ **Figura 2.1.** Motor Otto de cuatro tiempos.

1.1. Combustible

Como combustible se usa generalmente la **gasolina**. Este derivado del petróleo tiene una densidad de 0,71 a 0,76 kg/L a 15°C y posee un alto poder calorífico, aproximadamente 44.000 kJ/kg (10.400 kcal por cada kg de gasolina).

Es muy volátil, luego se gasifica con facilidad, lo que favorece la unión con el oxígeno del aire para formar la mezcla. La volatilidad mejora a medida que aumenta la temperatura, por esta razón, con frecuencia se dispone un sistema calefactor en el colector de admisión.

Otra característica importante de la gasolina es el **índice de octano**, que define su poder antidetonante, es decir, la temperatura que puede alcanzar cuando se comprime sin que llegue a autoencenderse. A medida que aumenta el índice de octano, disminuye el riesgo de autoencendido.

El autoencendido se produce cuando el combustible se inflama de forma espontánea, independientemente del encendido por chispa. Este fenómeno resulta perjudicial para el motor por producirse de forma incontrolada.

El grado de compresión a que puede ser sometida la mezcla dentro del cilindro, y por tanto la relación de compresión, está en función de la resistencia antidetonante del combustible empleado.

1.2. Preparación de la mezcla

El combustible ha de mezclarse con el aire, ya que este aporta el oxígeno necesario para realizar la combustión; los dos elementos se combinan en una proporción aproximada de 1 kg de gasolina por cada 14,7 kg de aire. La unión debe ser lo más homogénea posible, es decir, la gasolina vaporizada debe distribuirse uniformemente en el aire para garantizar una combustión completa. La proporción puede variar entre una mezcla pobre de máximo rendimiento (18/1), y una rica de máxima potencia (12,5/1). La mezcla se realiza antes de introducirla en el cilindro; su homogeneidad mejora durante el proceso de admisión y, ya dentro del cilindro, durante la compresión.

El sistema de inyección de gasolina dosifica y pulveriza el combustible mezclándolo con el aire que está pasando a gran velocidad por el colector de admisión (figura 2.2). Los modernos sistemas de inyección electrónica de gasolina sustituyen al carburador, que está dejando de ser usado por su falta de precisión para dosificar el combustible.

Por tanto, la mezcla se realiza en el conducto de admisión y es arrastrada al interior del cilindro durante el proceso de admisión para después ser comprimida.

1.3. Encendido

La combustión se inicia al final de la compresión por el salto de una chispa eléctrica en la bujía que proporciona el sistema de encendido en el instante adecuado, es decir, momentos antes de que el pistón llegue a su punto muerto superior (PMS). Este efecto se conoce como avance del encendido, y es necesario para compensar el tiempo que la llama tarda en propagarse y generar una alta presión. La presión máxima de combustión debe de aplicarse sobre la cabeza del pistón cuando este ha superado el PMS.

1.4. Regulación de la carga

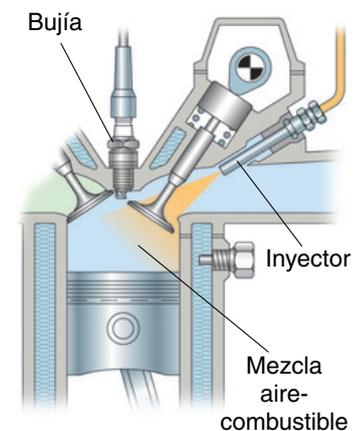
Según las necesidades se regula la cantidad de mezcla admitida en el motor, pero manteniendo aproximadamente la misma proporción.

La regulación se efectúa mediante una **mariposa de gases**, dispuesta en el colector de admisión, que es mandada por el pedal acelerador. A medida que la mariposa se abre permite el paso de una mayor cantidad de mezcla, aumentando así la energía obtenida en la combustión.

saber más

Gas licuado del petróleo (GLP)

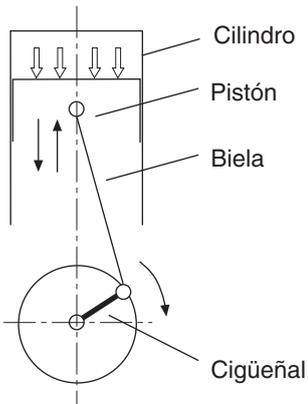
Otro combustible de uso minoritario en los motores Otto es el **gas licuado del petróleo (GLP)**, formado por una mezcla de gas butano, propano y propileno, que se encuentra en estado gaseoso a la presión atmosférica. Posee unas cualidades muy similares a las de la gasolina.



↑ **Figura 2.2.** Formación de la mezcla aire-combustible.



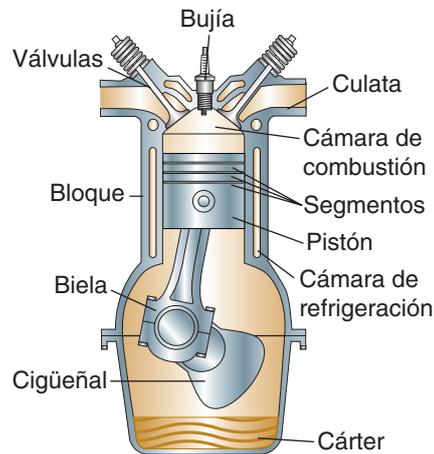
2. Constitución del motor Otto



↑ **Figura 2.3.** Mecanismo de pistón, biela y cigüeñal.

El motor Otto está formado (figura 2.3) por un **pistón** o émbolo de movimiento alternativo y un sistema de **biela y cigüeñal**, encargado de transformar el movimiento lineal del pistón en movimiento de rotación.

El pistón se desplaza dentro del **cilindro** (figura 2.4); la estanqueidad entre estos dos elementos está asegurada por unos anillos elásticos, que se montan en el pistón, llamados **segmentos**.



↑ **Figura 2.4.** Constitución del motor Otto.



caso práctico inicial

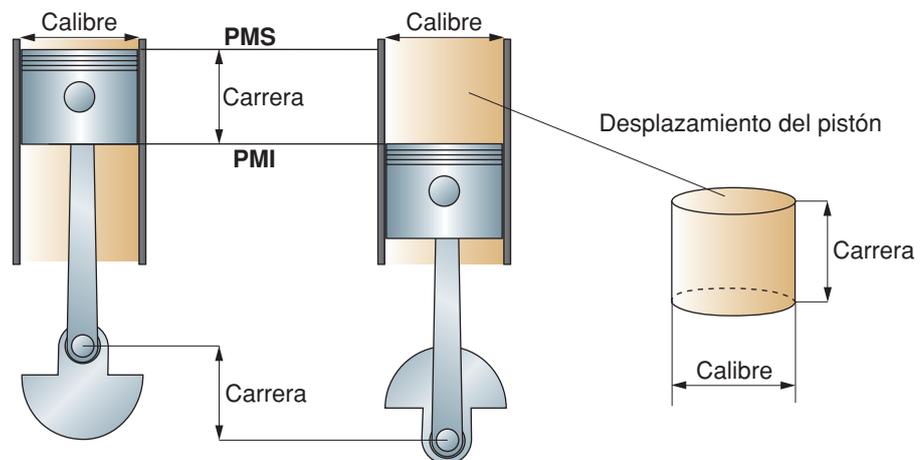
Constitución básica del motor Otto.

En la parte superior del cilindro se forma la **cámara de combustión** donde se comprime y se quema la mezcla, en su interior se disponen las **válvulas de admisión y escape** y la **bujía** de encendido.

La parte central constituye el **armazón del motor** y se denomina **bloque**, en su parte superior se fija la **culata** y la inferior queda cerrada por el **cárter**.

2.1. Desplazamiento del pistón

Tomando como referencia el plano de la cabeza del pistón (figura 2.5), los puntos donde este cambia de sentido en su movimiento alternativo se denominan **punto muerto superior (PMS)** y **punto muerto inferior (PMI)**.



↑ **Figura 2.5.** Desplazamiento del pistón.

La **carrera** es la distancia que recorre el pistón entre estos dos puntos.

El **volumen del cilindro** es el espacio que se genera cuando el pistón se desplaza desde el PMS al PMI. Está, por tanto, en función de la carrera y del diámetro del cilindro.

$$V_u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L$$

V_u = volumen unitario
 D = diámetro del cilindro
 L = carrera

Para calcular la cilindrada total (V) bastará multiplicar el volumen unitario por el número total de cilindros (N).

$$V = V_u \cdot N$$

2.2. Relación de compresión

Al final de la admisión (figura 2.6), cuando el pistón se encuentra en el PMI, el gas ocupa todo el volumen del interior del cilindro ($V_u + V_c$). Cuando el pistón se sitúa en el PMS, el gas se comprime ocupando únicamente el volumen de la cámara de combustión (V_c).

La relación existente entre estos dos volúmenes se denomina relación de compresión, y de ella dependen la presión y la temperatura final de compresión.

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$

R_c = relación de compresión
 V_u = volumen unitario
 V_c = volumen de la cámara de combustión

EJEMPLO

Un motor de cuatro cilindros tiene una carrera de 92 mm y un diámetro de 83 mm, el volumen de la cámara de combustión es de 57 cm³.
 Calcula la cilindrada total y la relación de compresión.

Solución:

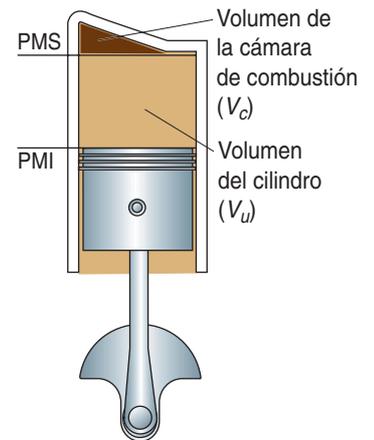
$$V_u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 8,3^2}{4} \cdot 9,2 = 497,5 \text{ cm}^3$$

$$V = 497,5 \cdot 4 = 1.990 \text{ cm}^3$$

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c} = \frac{497,5 + 57}{57} = 9,7/1$$

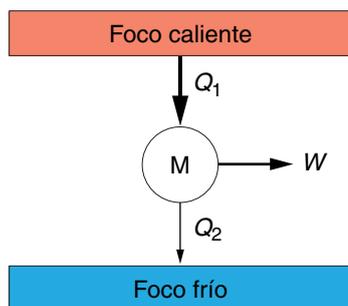
caso práctico inicial

Volumen del cilindro y relación de compresión.



$$\text{Relación de compresión} = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$

↑ **Figura 2.6.** Relación de compresión.



↑ **Figura 2.7.** Transformación de calor en trabajo.

3. Funcionamiento del motor térmico de combustión interna

Un motor térmico es una máquina que transforma energía térmica en energía mecánica mediante un proceso de intercambio de calor entre dos focos a diferente temperatura (figura 2.7).

El foco de mayor temperatura aporta una cantidad de calor (Q_1), parte de este calor es transformado en trabajo (W), el resto es cedido al foco frío (Q_2).

El calor aportado al sistema (Q_1) es positivo, el calor cedido (Q_2) no es transformado en trabajo y por tanto es de signo negativo. El trabajo total (W) es igual al calor absorbido menos el calor cedido: $W = Q_1 - Q_2$.

No es posible transformar en su totalidad el calor en trabajo, ya que es imprescindible disipar cierta cantidad de calor como parte del ciclo de funcionamiento.

En un motor térmico de combustión interna el calor se obtiene de la combustión de una mezcla de aire y combustible, que eleva fuertemente la temperatura en el interior del cilindro (foco caliente). Una gran parte se transforma en trabajo durante la expansión de los gases. El calor restante que no ha sido transformado es expulsado al exterior, de forma que el medio ambiente actúa como foco frío. El motor queda preparado para admitir una nueva carga de gas y comenzar un nuevo ciclo. En un motor se obtiene trabajo de forma continua debido a que realiza ciclos termodinámicos que se repiten constantemente.

La transferencia de calor entre dos elementos a diferente temperatura se establece siempre en el mismo sentido, del más caliente al más frío, si se pretende invertir este sentido es necesario aportar un trabajo. Esto ocurre en la fase previa a la combustión, los gases son comprimidos con el fin de aumentar su temperatura. Para realizar la compresión el volante de inercia cede parte de su energía cinética que es transformada en calor.

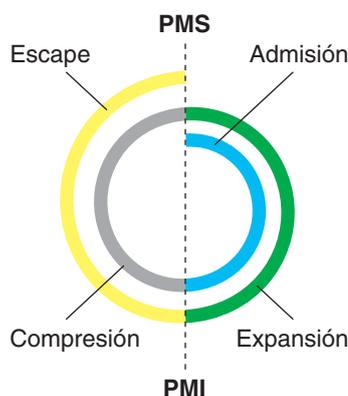
3.1. Ciclo teórico del motor Otto de cuatro tiempos

Los procesos que en la práctica se producen durante el desarrollo del ciclo son muy complejos. Para facilitar su comprensión se recurre a los ciclos teóricos que ayudan a conocer los procesos reales. Se supone que cada fase del ciclo teórico se desarrolla en condiciones ideales y por tanto se obtiene el máximo trabajo. Esto permite introducir las mejoras necesarias sobre el ciclo real para que se aproxime al teórico lo máximo posible.

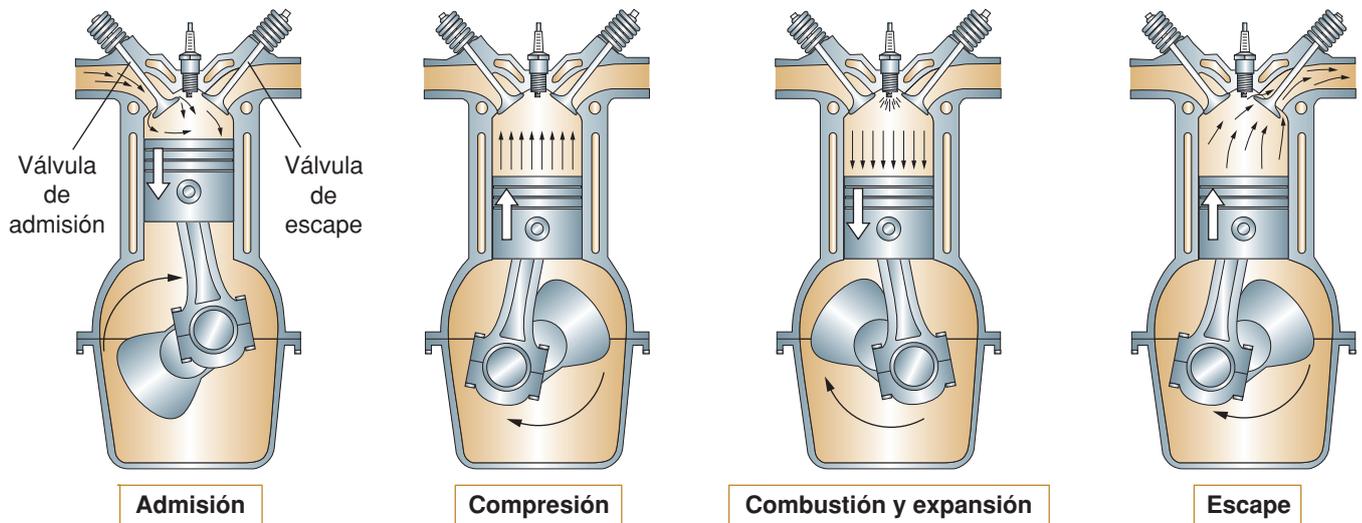
Un ciclo de trabajo requiere cuatro operaciones diferentes: admisión, compresión, expansión y escape (figura 2.9), cada una de ellas se realiza en una carrera del pistón, equivalente a media vuelta de cigüeñal. Por tanto, el ciclo se completa en dos revoluciones del motor (figura 2.8).

En cada carrera el pistón se desplaza entre el PMS y el PMI alternativamente. Este movimiento lineal es transformado en rotación mediante el mecanismo de biela y cigüeñal.

El control de la entrada y salida de los gases en el cilindro se efectúa mediante válvulas cuya apertura y cierre está sincronizada con el movimiento del pistón. De los cuatro tiempos de que consta el ciclo solamente la combustión y expansión de los gases aporta trabajo, el impulso que recibe el pistón es recogido por el volante de inercia que, debido a su masa, es capaz de almacenar cierta cantidad de energía cinética devolviéndola después para realizar los otros tres tiempos.



↑ **Figura 2.8.** Ciclo teórico de cuatro tiempos.



↑ Figura 2.9. Ciclo de trabajo del motor Otto de cuatro tiempos.

1º Tiempo. Admisión

En el punto muerto superior (PMS) se abre la válvula de admisión y el pistón comienza su carrera descendente. El aumento de volumen en el cilindro es ocupado por la mezcla de aire y combustible que entra a gran velocidad. Cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI) se cierra la válvula de admisión. En teoría el cilindro queda totalmente lleno de mezcla a presión ambiente. El cigüeñal ha girado media vuelta.

2º Tiempo. Compresión

Las válvulas de admisión y escape están cerradas, el pistón realiza su carrera ascendente desde el PMI. Cuando el pistón llega al PMS la mezcla queda comprimida en la cámara de combustión alcanzando una presión que oscila entre 10 y 15 bar dependiendo del valor de la relación de compresión. Para realizar la compresión y elevar la temperatura de la mezcla el volante de inercia aporta su energía cinética. En este tiempo el cigüeñal gira otra media vuelta.

3º Tiempo. Combustión y expansión

En el PMS la bujía proporciona una chispa que inflama la mezcla comprimida. La combustión provoca un inmediato aumento de la temperatura, apareciendo una alta presión que se aplica sobre la cabeza del pistón. El pistón desciende desde el PMS hasta el PMI, transformándose así la energía calorífica liberada en la combustión, en energía mecánica. A medida que el pistón desciende los gases se expansionan dentro del cilindro y la presión disminuye progresivamente. Durante esta tercera media vuelta las dos válvulas continúan cerradas.

El tiempo de expansión es la única fase del ciclo que aporta trabajo.

4º Tiempo. Escape

En el PMI los gases se han expansionado pero aún queda una presión residual y una considerable temperatura en el interior del cilindro. La válvula de escape se abre y los gases quemados salen a gran velocidad. La presión y la temperatura caen de forma inmediata hasta igualarse con el exterior. El pistón comienza su ascenso; cuando llega al PMS ha expulsado la totalidad de los gases quemados y la válvula de escape se cierra, se completa así la cuarta media vuelta. Comienza de nuevo la admisión y el ciclo se repite.

caso práctico inicial

Ciclo de funcionamiento de cuatro tiempos.



Transformaciones termodinámicas

El desarrollo de un ciclo en el interior del cilindro comprende una serie de transformaciones que dan lugar a variaciones en el volumen, la presión y la temperatura de los gases. A continuación se definen las transformaciones teóricas que intervienen en el ciclo.

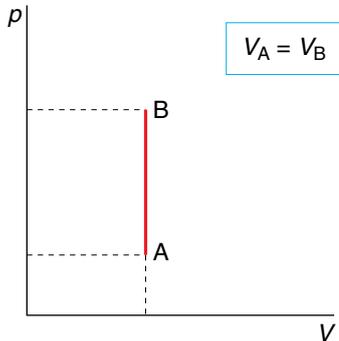
Transformación isócara o a volumen constante

Proceso de transformación que sucede sin que haya variación en el volumen.

Si la temperatura de un gas aumenta mientras se mantiene su volumen constante, su presión también aumenta proporcionalmente (figura 2.10).

Suponiendo que el calor de la combustión se aporta de forma instantánea el volumen no varía, ya que no hay movimiento del pistón.

El motor Otto realiza la combustión teóricamente a volumen constante.



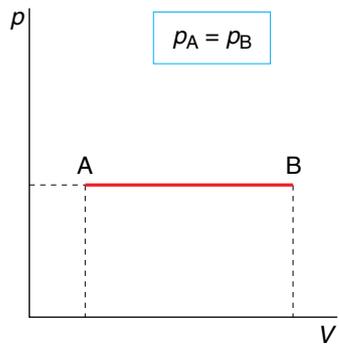
↑ **Figura 2.10.** Isócara o a volumen constante.

Transformación isóbara o a presión constante

Este tipo de transformación se produce si a pesar de variar el volumen se mantiene constante la presión (figura 2.11).

Cuando el avance del pistón aumenta el volumen, el calor de la combustión se aporta progresivamente para mantener constante la presión en el cilindro.

El motor Diesel realiza la combustión teóricamente a presión constante.



↑ **Figura 2.11.** Isóbara o presión constante.

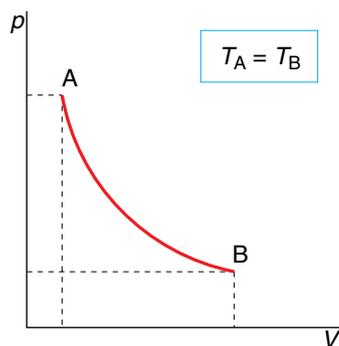
Transformación adiabática

Una transformación adiabática es aquella que se realiza mientras el sistema se mantiene térmicamente aislado de su entorno. Los tiempos de compresión y expansión son adiabáticos en el caso de que no exista intercambio de calor a través de las paredes del cilindro.

Transformación isoterma o a temperatura constante

Manteniendo constante la temperatura del gas dentro del cilindro, el volumen y la presión varían en relación inversamente proporcional (figura 2.12).

En un motor con relación de compresión 10 a 1, el pistón comprime el gas a la décima parte de su volumen inicial, la presión crecerá proporcionalmente haciéndose 10 veces mayor (figura 2.13).



↑ **Figura 2.12.** Isoterma o a temperatura constante.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}; \quad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

p_1 = Presión inicial

V_1 = Volumen inicial

p_2 = Presión final

V_2 = Volumen final

Condiciones iniciales:

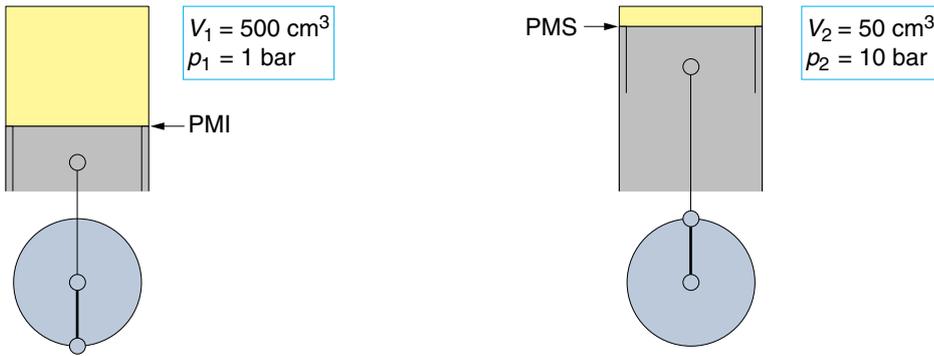
$V_1 = 500 \text{ cm}^3$

$p_1 = 1 \text{ bar}$

Condiciones finales con una R_c de 10 / 1

$$V_2 = \frac{500}{10} = 50 \text{ cm}^3$$

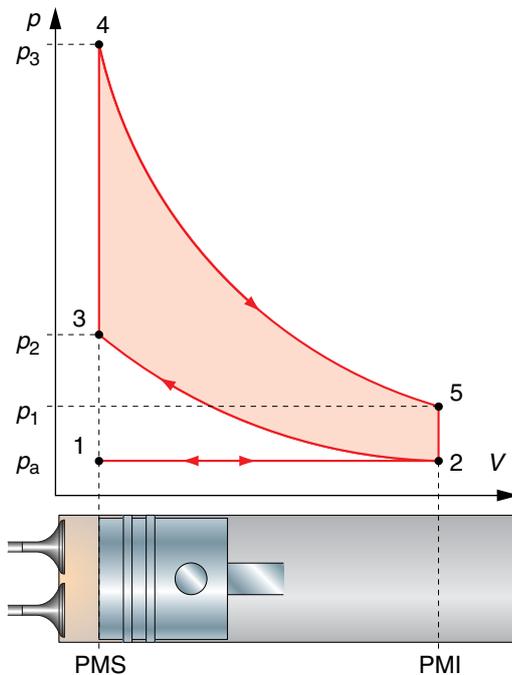
$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{1 \cdot 500}{50} = 10 \text{ bar}$$



← Figura 2.13. Presión y volumen a temperatura constante.

Diagrama del ciclo teórico

El diagrama de trabajo o diagrama presión – volumen (p - V), es la representación gráfica de los valores que va tomando la presión y el volumen a lo largo de las cuatro carreras que efectúa el pistón en un ciclo de trabajo teórico (figura 2.14).



← Figura 2.14. Diagrama teórico del ciclo Otto.

Admisión: 1-2. La válvula de admisión se abre y el pistón desciende desde el PMS al PMI. El cilindro se llena con gases frescos a la presión atmosférica (isobara 1-2). La válvula de admisión se cierra cuando el pistón llega al PMI.

Compresión: 2-3. Con las válvulas de admisión y escape cerradas, el pistón se desplaza del PMI al PMS y la mezcla aire/combustible queda comprimida (p_2). El aumento de presión eleva la temperatura de la mezcla. Esta compresión se supone adiabática y requiere un trabajo negativo.

Combustión: 3-4. En el PMS se produce el encendido, la combustión inmediata de los gases provoca una fuerte subida de la presión (p_3). La aportación de calor es instantánea, sin movimiento del pistón. Combustión a volumen constante (isócara 3-4).

Expansión: 4-5. Las dos válvulas continúan cerradas, la alta presión hace que el pistón se desplace del PMS al PMI generando un trabajo positivo. Esta carrera se supone adiabática.

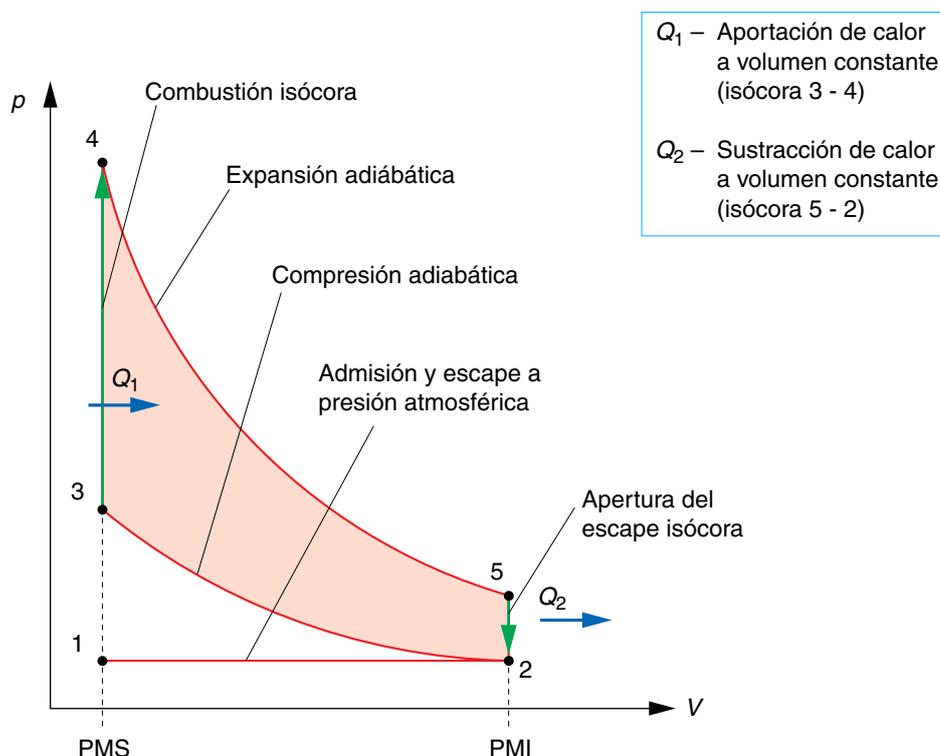


Principio de escape: 5-2. En el PMI se abre la válvula de escape, la presión (P_1) descende instantáneamente hasta la presión atmosférica (P_a). Esta caída de la presión (5-2) supone también la inmediata evacuación del calor que no ha sido convertido en trabajo durante la expansión. La sustracción de calor en teoría es isócara (a volumen constante).

Expulsión de los gases: 2-1. El pistón se desplaza desde el PMI al PMS expulsando los gases quemados a una presión igual a la atmosférica (isobara 2-1). La válvula de escape se cierra cuando el pistón llega al PMS.

caso práctico inicial

Diagramas teórico y práctico.



↑ **Figura 2.15.** Evoluciones teóricas del diagrama de trabajo.

El ciclo teórico se desarrolla bajo los supuestos siguientes (figura 2.15):

- La carrera de admisión (1-2) y la de escape (2-1) se realizan en teoría, ambas a presión atmosférica. El trabajo requerido se considera nulo.
- La carrera de compresión (2-3) y la de expansión (4-5) se suponen adiabáticas. Es decir, sin pérdidas ni ganancia de calor.
- La aportación de calor (Q_1) mediante la combustión (3-4) y la sustracción de calor (Q_2) en la apertura de la válvula de escape (5-2) se suponen isócoras. Es decir, la presión varía de forma instantánea (tiempo 0), mientras el volumen permanece constante.

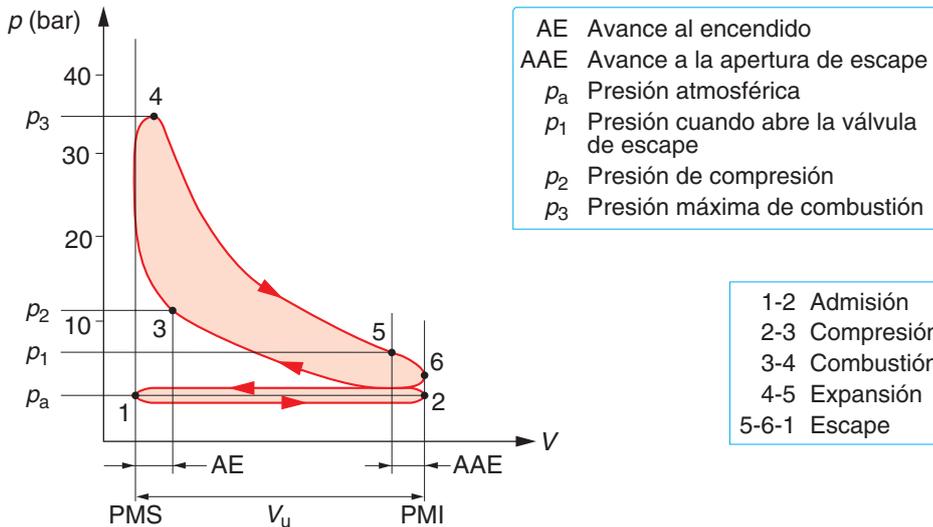
El trabajo total desarrollado en este ciclo teórico es igual al trabajo positivo obtenido durante la expansión, menos el trabajo aportado para realizar la compresión. Está representado en el diagrama (figura 2.14) por la superficie cerrada (2-3-4-5-2).

En estas condiciones el trabajo obtenido en el ciclo teórico es superior al que se obtiene en el funcionamiento real del motor.

3.2. Ciclo práctico del motor Otto de cuatro tiempos

El diagrama de trabajo teórico se calcula suponiendo que el motor trabaja en condiciones ideales, es decir, tanto la aportación como la sustracción de calor se hacen de forma instantánea, y no existe intercambio de calor con el exterior.

El funcionamiento real del motor presenta importantes diferencias con el teórico (figura 2.16).



↑ Figura 2.16. Diagrama real del ciclo Otto.

Diagrama del ciclo real

Admisión: 1-2. La válvula de admisión se abre y el pistón desciende. El llenado se realiza a una presión inferior a la atmosférica debido a las pérdidas de carga en el conducto de admisión. El gas solo comenzará a entrar cuando el desplazamiento del pistón ha creado la depresión suficiente, esta depresión se mantiene durante la carrera de admisión debido a la resistencia que el gas encuentra a su paso por el filtro, los conductos y la válvula (la cantidad de mezcla admitida es inferior a la teórica). Con el fin de aprovechar la inercia del gas y mejorar el llenado, la válvula de admisión se abre con antelación, antes de que el pistón llegue al PMS, y se cierra con retraso, después del PMI.

Compresión: 2-3. Con las dos válvulas cerradas, el pistón asciende comprimiendo la mezcla. La compresión no es adiabática ya que parte del calor producido en la compresión es absorbido por el circuito de refrigeración, reduciendo la presión final (p_2). El encendido se produce en el punto 3 antes de que el pistón llegue al PMS, para compensar el tiempo de combustión (AE).

Combustión: 3-4. Una vez iniciada la combustión en el punto 3, esta se propaga de forma muy rápida pero no instantánea. La combustión no se realiza a volumen constante ya que el pistón efectúa un pequeño recorrido (3-4) superando el PMS. El incremento de volumen hace que la presión máxima de combustión (p_3) sea inferior a la teórica.

Expansión: 4-5. El pistón desciende en la carrera de trabajo, esta carrera no es adiabática ya que parte del calor es evacuado al sistema de refrigeración. Esta pérdida de calor además de una menor presión de combustión hace que el trabajo útil obtenido sea menor al teórico.

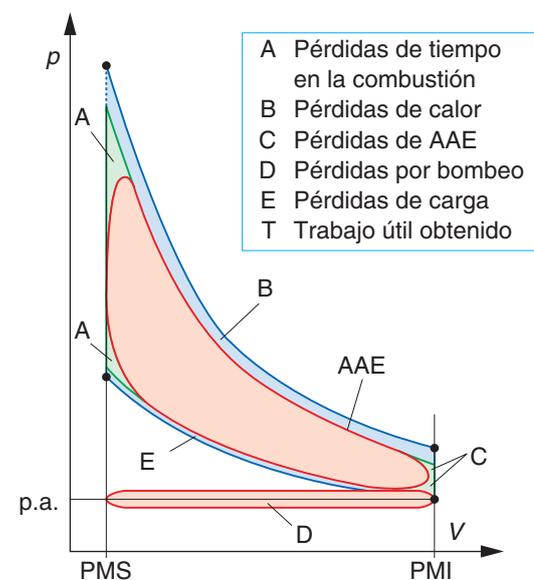


Principio de escape: 5-6. La válvula de escape se abre en el punto 5, antes de que el pistón llegue al PMI. Este avance en la apertura del escape (AAE) es necesario porque el descenso de la presión (p_i) no es instantáneo, sino que se necesita cierto tiempo durante el cual el pistón hace el recorrido (5-6). La caída de la presión residual y por tanto la sustracción de calor no se realiza a volumen constante (no isócara).

Expulsión de los gases: 6-1. En el PMI la presión ya ha descendido lo suficiente y el pistón sube expulsando los gases quemados. Durante la carrera ascendente se mantiene una presión ligeramente superior a la atmosférica debido a que el paso de los gases hacia el exterior encuentra cierta resistencia en el conducto de escape, el silenciador y el catalizador. La válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS, con el fin de aprovechar la velocidad de salida de los gases y mejorar su evacuación.

Comparación de diagramas teórico y práctico

Comparando la superficie de trabajo útil obtenida en el diagrama real con el diagrama teórico, se pueden apreciar las pérdidas que se producen en el funcionamiento real del motor (figura 2.17).



↑ Figura 2.17. Pérdidas en el diagrama de trabajo.

- **Pérdidas por bombeo**

La carga y evacuación de los gases en el cilindro se realiza gracias al trabajo de bombeo que efectúa el pistón. En la admisión la presión permanece por debajo de la atmosférica, y en el escape es superior. Este bombeo supone un trabajo negativo en el diagrama práctico, representado por la superficie (D).

- **Pérdidas de carga en el cilindro**

El llenado del cilindro nunca es completo, en consecuencia, la presión de compresión es menor a la teórica. Superficie E.

- **Pérdidas de calor**

La compresión y la expansión se suponen adiabáticas en el ciclo teórico, en la práctica parte del calor es evacuado al circuito de refrigeración a través de las paredes del cilindro, lo que conlleva una pérdida de presión. En el diagrama la superficie (B), representa la diferencia con el ciclo teórico, donde existe mayor rendimiento al no tenerse en cuenta estas pérdidas de calor.

- **Pérdidas de tiempo en la combustión**

En teoría la combustión es isócara, se realiza a volumen constante. Realmente no es así ya que la combustión requiere tiempo hasta alcanzar la máxima presión, en este tiempo el pistón se desplaza causando una variación de volumen que origina la pérdida de las superficies (A), en el ciclo práctico.

- **Pérdidas por el AAE**

El avance a la apertura del escape, provoca un rápido descenso de presión antes de que el pistón llegue al PMI, lo cual supone una pérdida de energía que deja de transformarse en trabajo útil. En el diagrama la superficie (C).

3.3. Compresión y combustión

La energía que aporta el volante de inercia para realizar la compresión se transforma en calor que es absorbido por la mezcla de aire y combustible. A medida que aumenta el grado de compresión se obtiene un mayor aprovechamiento de la

energía térmica del combustible, esto es debido a que la mayor temperatura mejora las condiciones de la mezcla en cuanto a gasificación, consiguiéndose una combustión más completa.

Por otro lado, se reduce el volumen de la cámara de combustión haciéndose más compacta, por lo que hay menos pérdidas de calor y los gases quemados se evacuan con mayor rapidez.

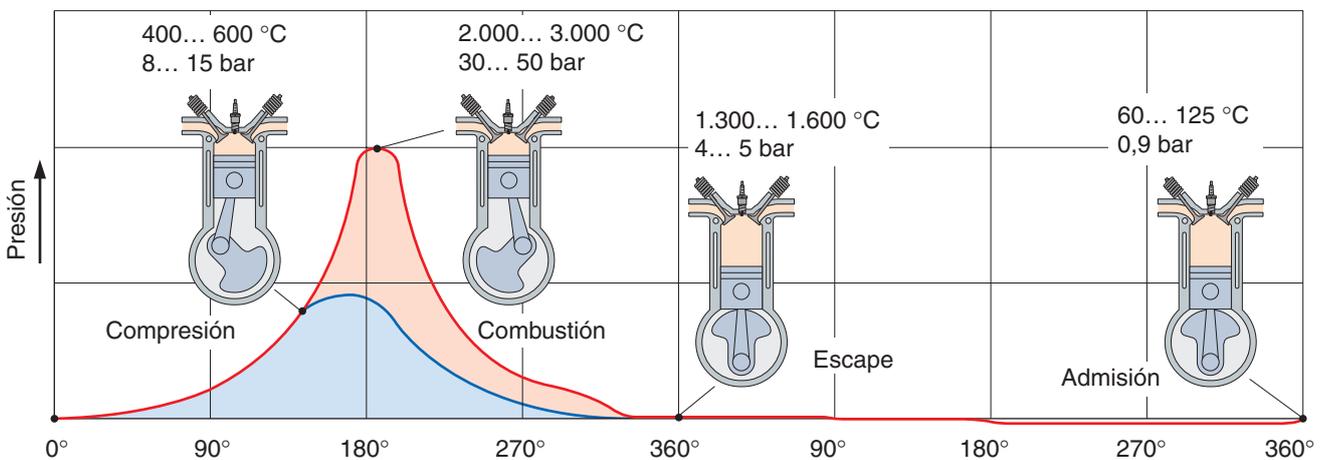
El rendimiento térmico del motor, en función de su relación de compresión, puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}}$$

η_t = Rendimiento térmico

R_c = Relación de compresión

γ = Coeficiente de modificación de los gases, cuyo valor es 1,33 para motores Otto



La relación de compresión usada en los motores Otto oscila entre 8 / 1 y 11 / 1. Para valores superiores existe riesgo de autoencendido ya que el gas comprimido puede superar los 500 °C. El autoencendido aparece cuando la mezcla se inflama por sí sola debido a un exceso de temperatura, independientemente del encendido eléctrico.

Este fenómeno resulta muy perjudicial ya que somete a los órganos del motor (pistón, biela y cigüeñal) a fuertes cargas térmicas y mecánicas que pueden llegar a producir graves averías. La resistencia al autoencendido de la gasolina la determina su índice de octano, cuanto mayor es este índice tanto mayor es su poder antidetonante, pudiéndose utilizar relaciones de compresión más altas.

↑ **Figura 2.18.** Solicitaciones de presión y temperatura en el motor Otto.

EJEMPLO

¿Qué rendimiento térmico se obtiene en un motor que tiene una relación de compresión de 10 a 1?

Solución:

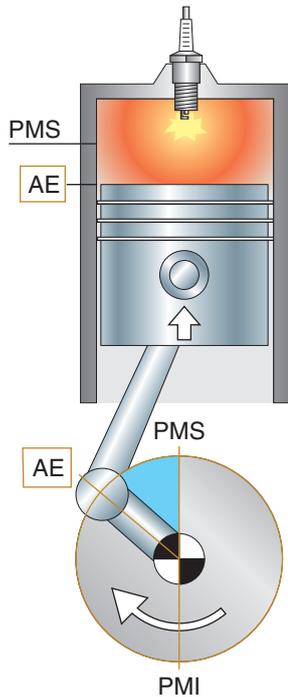
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{10^{0,33}} = 0,53 ; \quad \eta_t = 53\%$$



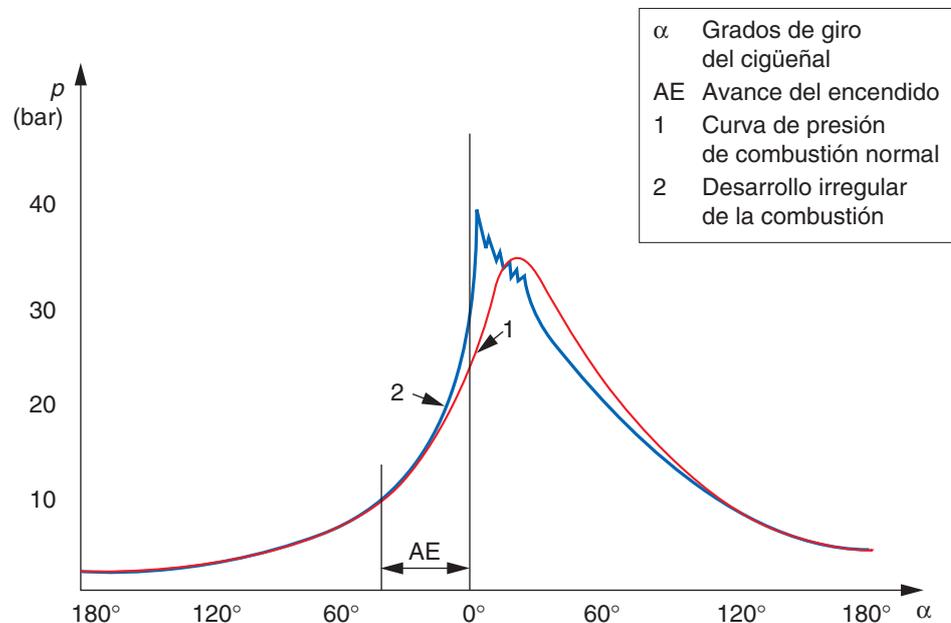
Avance del encendido

La combustión de los gases no se produce de forma instantánea, se requiere un tiempo para alcanzar la máxima presión, como consecuencia, el encendido debe iniciarse con un cierto avance respecto a la posición de PMS del pistón (figura 2.19) con el fin de que este reciba el máximo impulso inmediatamente después de pasar el PMS (figura 2.20).

El avance del encendido es dinámico, es decir, el sistema adapta el avance entre, aproximadamente 5° y 40° antes del PMS, en función de la velocidad de giro y de la carga del motor. A medida que aumenta la velocidad del pistón el encendido se produce con mayor antelación.



↑ **Figura 2.19.** Posición del pistón en el momento del encendido.



↑ **Figura 2.20.** Desarrollo de la presión de combustión.

caso práctico inicial

Encendido y combustión de la mezcla.

Combustión

Al final de la compresión, la mezcla ha adquirido suficiente temperatura y se encuentra preparada para la combustión.

La inflamación de la mezcla se inicia a través de una chispa eléctrica que salta entre los electrodos de la bujía. Las partículas más próximas a la chispa comienzan a arder, a partir de este punto de encendido, la combustión se propaga formando un frente de llama que avanza muy rápidamente quemándose por capas, de tal forma que la presión máxima se alcanza momentos después de que comience la combustión.

La combustión de la mezcla eleva fuertemente la temperatura dentro de la cámara de combustión (unos 2.000°C), con el consiguiente aumento de presión (unos 40 bar). Esta presión se aplica sobre la superficie de la cabeza del pistón en su descenso produciéndose la expansión de los gases dentro del cilindro.

En este momento se produce la transformación de la energía calorífica obtenida en la combustión, en trabajo mecánico, que el pistón transmite al cigüeñal mediante la biela, obteniéndose la rotación del motor.

3.4. Intercambio de gases

El intercambio de los gases comprende los procesos de admisión de la mezcla en el cilindro y expulsión de los gases quemados. El rendimiento del motor depende en gran medida de que este proceso se realice eficazmente. Los residuos de la combustión deben ser evacuados en su totalidad para llenar el cilindro con mezcla fresca que será quemada nuevamente.

Los motores Otto giran con elevado número de revoluciones. El intercambio de gases debe realizarse en un tiempo muy corto, por lo que es necesario optimizar el proceso considerando los efectos de la inercia a que está sometida la masa gaseosa.

Si se realiza la apertura y cierre de válvulas coincidiendo con los puntos muertos del pistón, como ocurre en el ciclo teórico, solamente permanecen abiertas un ángulo de 180° y el intercambio de gases es deficiente.

Cuando el pistón comienza a descender, el gas es absorbido hacia el interior del cilindro, pero la inercia hace que tarde un tiempo en reaccionar. Si la válvula de admisión comienza a abrirse con antelación estará totalmente abierta cuando el pistón supere el PMS y el gas se moverá con mayor rapidez. Una vez que ha adquirido energía cinética, si se cierra la válvula en el PMI, el gas chocará contra ella, si por el contrario se mantiene la válvula abierta, la masa gaseosa seguirá entrando por inercia aun cuando ya no exista vacío en el interior del cilindro.

Con el aumento en el ángulo de apertura de las válvulas se consigue mejorar el llenado de los cilindros.

Diagrama de distribución

En el diagrama de distribución (figura 2.21) se representan los puntos de apertura y cierre de las válvulas, así como los ángulos totales que permanecen abiertas. También se representa el avance del encendido (AE).

Los ángulos o cotas de distribución se miden en grados de giro de cigüeñal respecto de los puntos muertos superior e inferior. Son las siguientes:

- Avance a la apertura del escape (AAE). Antes del PMI.
- Retraso al cierre del escape (RCE). Después del PMS.
- Avance a la apertura de admisión (AAA). Antes del PMS.
- Retraso al cierre de admisión (RCA). Después del PMI.

Avance a la apertura del escape (AAE)

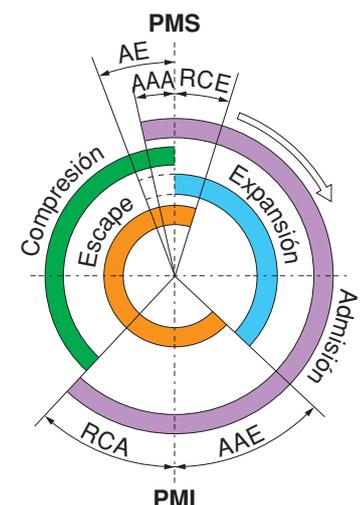
El pistón desciende en el tiempo de expansión. La válvula de escape se abre antes de que el pistón llegue al PMI, en este momento la presión dentro del cilindro es de 3 a 4 bar, esta presión provoca que los gases salgan a gran velocidad. La presión interna disminuye rápidamente, lo que facilita la carrera ascendente del pistón que barre los gases a unos 0,2 bar por encima de la presión atmosférica.

Avance a la apertura de admisión (AAA)

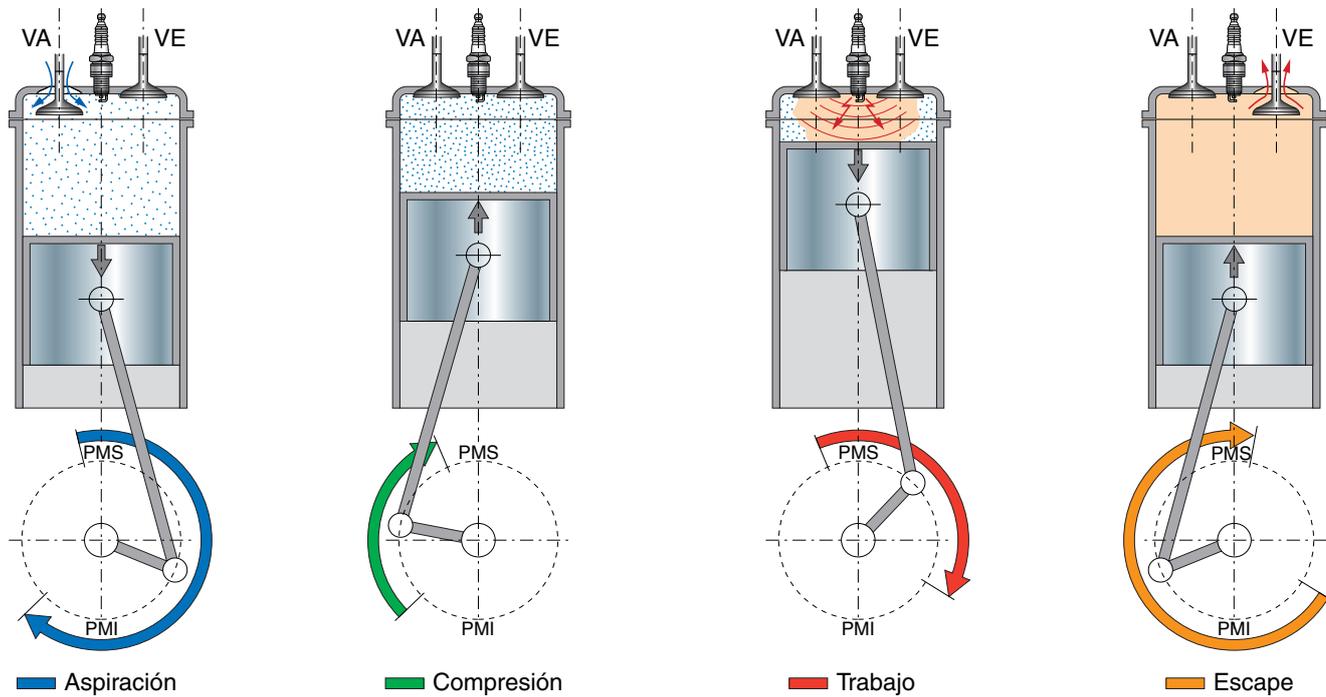
El pistón asciende en el tiempo de escape. La válvula de admisión se abre unos grados antes de que el pistón llegue al PMS, cuando aún permanece abierta la válvula de escape. De esta forma se aprovecha la velocidad de salida de los gases de escape, que arrastran a los gases frescos situados en el conducto de admisión, hacia el interior del cilindro. Cuando el pistón comienza a bajar, la válvula de admisión ya está abierta casi por completo.

caso práctico inicial

Intercambio de gases y diagrama de distribución.



↑ Figura 2.21. Diagrama de distribución.



↑ **Figura 2.22.** Ciclo práctico del motor Otto de cuatro tiempos.

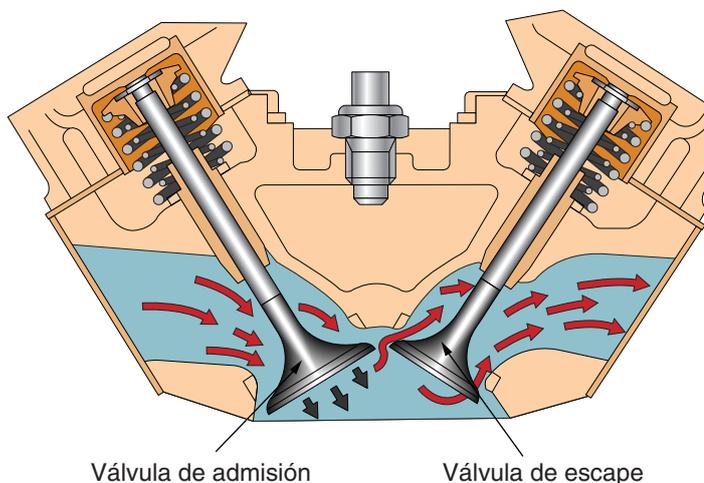
Retraso al cierre del escape (RCE)

La válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS, cuando ya está abierta la válvula de admisión y el pistón ha comenzado su carrera descendente. Aun así, los gases siguen saliendo debido a la inercia adquirida por la velocidad, consiguiendo un buen barrido de los gases residuales. El ángulo durante el cual las dos válvulas permanecen abiertas se denomina **cruce de válvulas**.

Retraso al cierre de admisión (RCA)

El pistón desciende en admisión, la válvula se cierra después de que el pistón haya pasado el PMI. La gran velocidad que adquiere el fluido en la admisión hace que por inercia continúe entrando el gas, a pesar de que el pistón haya comenzado a subir, consiguiéndose una notable mejora en el llenado del cilindro. Cuando se cierra la válvula de admisión comienza la compresión.

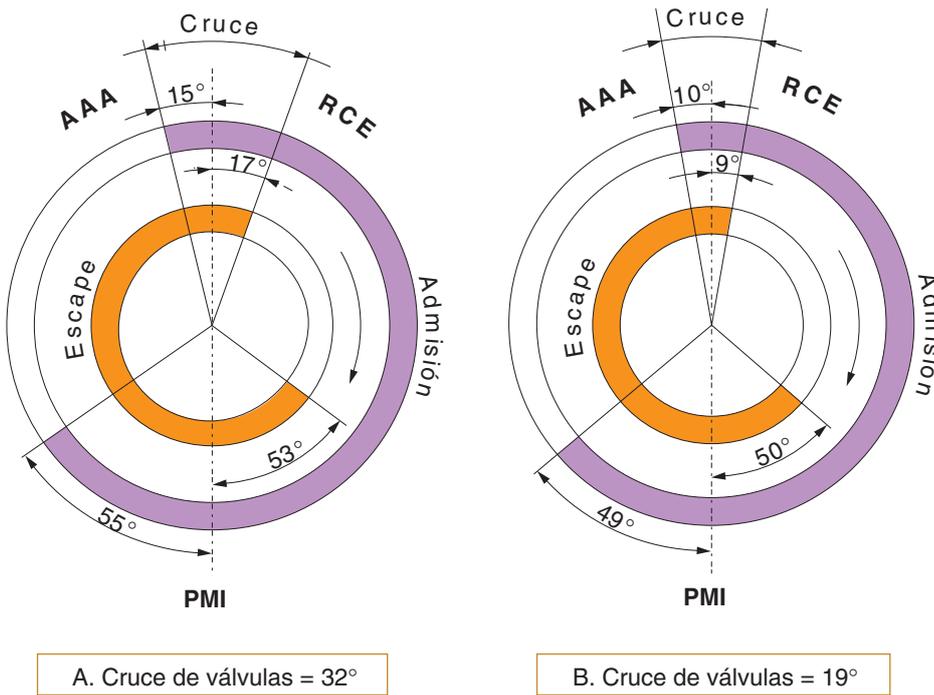
↓ **Figura 2.23.** Cruce de válvulas.



Cruce de válvulas

El cruce de válvulas se produce entre el AAA y el RCE. Al final del escape los gases que han adquirido inercia continúan saliendo a cierta velocidad (figura 2.23) sin embargo, el pistón decelera rápidamente al llegar al PMS. Esta diferencia de velocidades provoca un ligero vacío dentro del cilindro, si en este momento se abre la válvula de admisión comenzarán a entrar los gases frescos, mejorando el llenado del cilindro. Los ángulos en que permanecen abiertas las válvulas simultáneamente y por tanto el valor del cruce, dependen de las características del motor, pero sobre todo del número de revoluciones al que desarrolla su máxima potencia.

A medida que aumenta el número de revoluciones del motor, el tiempo disponible para realizar el intercambio de los gases es menor, por lo que se hace necesario aumentar los ángulos de apertura de las válvulas.



↑ **Figura 2.24.** Ángulo de cruce de válvulas en función del tipo de motor.

En los motores rápidos de alto rendimiento se dispone un amplio ángulo de cruce de válvulas con el fin de proporcionar el tiempo suficiente para un buen llenado a altas revoluciones (figura 2.24 A).

Los motores lentos necesitan menos cruce, ya que disponen de tiempo suficiente para efectuar una buena carga (figura 2.24 B). Un cruce excesivo en estos motores daría lugar a pérdidas de gases frescos por la válvula de escape.

Las válvulas son mandadas por el sistema de distribución a través de un árbol de levas que gira sincronizado con el cigüeñal. La posición de las levas sobre el árbol determina los momentos de apertura y cierre de las válvulas y por tanto los ángulos del diagrama.

Las cotas o ángulos de distribución se establecen para cada motor mediante ensayos y pruebas, y su valor puede variar por la existencia de dispositivos como admisión variable o turbocompresor. Los sistemas de distribución variable adaptan los ángulos del diagrama en función de las condiciones de carga y la velocidad del motor para obtener un alto par con revoluciones medias y alta potencia con regímenes elevados.

VALORES MEDIOS DE LAS COTAS DE DISTRIBUCIÓN EN MOTORES OTTO				
ADMISIÓN		ESCAPE		CRUCE
Avance	Retraso	Avance	Retraso	
0° - 15°	40° - 60°	40° - 60°	0° - 20°	0° - 35°



4. Motores Otto de cuatro tiempos

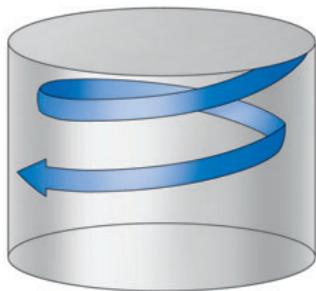
Los motores Otto de cuatro tiempos que actualmente se emplean en automoción se pueden clasificar por el tipo de mezcla que utilizan.

- Motor Otto de inyección indirecta (mezcla homogénea)
- Motor Otto de inyección directa (mezcla estratificada)

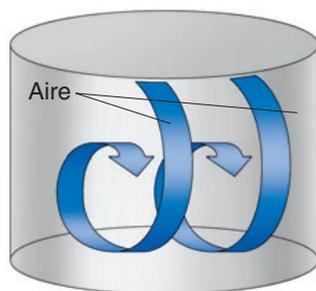
4.1. El motor Otto de inyección indirecta

Los motores Otto convencionales trabajan con una mezcla formada por 14,7 partes de aire por cada parte de combustible (esta mezcla se denomina estequiométrica). Además es necesario que la mezcla sea homogénea, es decir, que en todo su volumen la proporción de mezcla sea la misma.

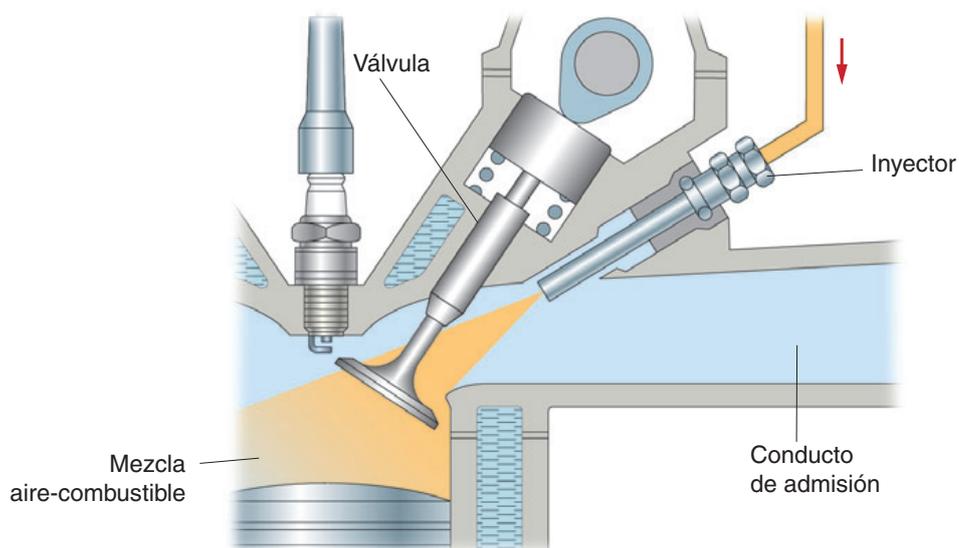
El combustible se inyecta delante de la válvula de admisión (inyección indirecta) con una presión de 3 a 3,5 bares y se mezcla con el aire que está pasando por el tubo de admisión (figura 2.25), dentro del cilindro se forma un flujo turbulento que favorece la formación de una mezcla homogénea (figura 2.26). La mezcla se puede enriquecer o empobrecer ligeramente para adaptarla a las condiciones de funcionamiento del motor.



↑ Figura 2.26. Flujo turbulento.



↑ Figura 2.27. Flujo giratorio.



↑ Figura 2.25. Inyección indirecta.

caso práctico inicial

El ciclo de funcionamiento del motor de inyección directa se diferencia del clásico en la forma de realizarse la mezcla y en el desarrollo de la combustión.

4.2. El motor Otto de inyección directa

La inyección directa en los motores Otto es una técnica que actualmente emplean muchos fabricantes debido a que permite trabajar con carga estratificada y mezcla pobre, este método reduce el consumo y los gases de escape son menos contaminantes. El combustible es inyectado en el interior del cilindro con una presión que puede oscilar entre 30 y 100 bares.

Este motor tiene dos modos de funcionamiento que se diferencian por el tipo de mezcla que se utiliza en cada uno de ellos.

- **Modo estratificado pobre.** La inyección se produce en la carrera de compresión.
- **Modo homogéneo.** La inyección se produce en la carrera de admisión.

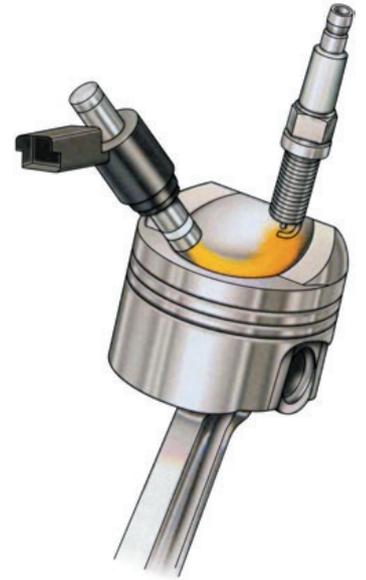
El **modo estratificado** con mezcla pobre se emplea cuando el motor trabaja con cargas bajas, si se requiere mayor potencia el motor pasa a trabajar con mezcla homogénea.

Se utilizan mezclas aire/combustible muy pobres (40/1), esta mezcla no es inflamable si se combina de forma homogénea. Es necesario recurrir a una mezcla estratificada formada por capas o estratos con diferentes valores de riqueza, de forma que se pueda concentrar una mezcla rica en torno a la bujía y pobre en la periferia.

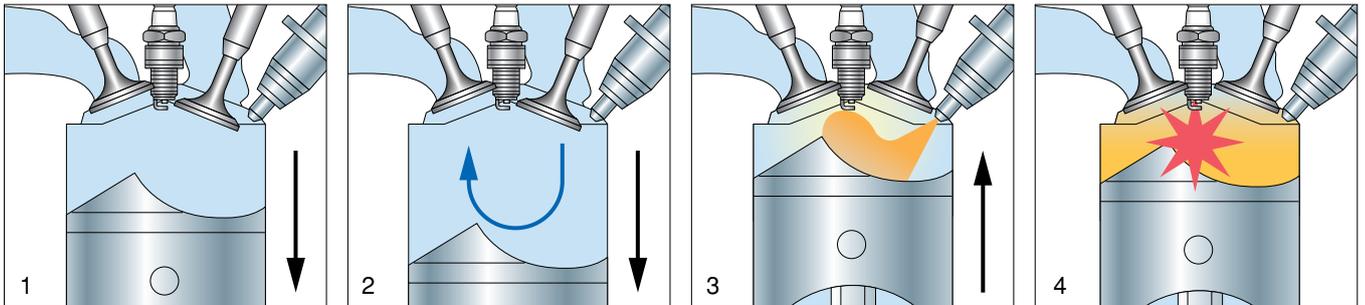
Para conseguir este tipo de mezcla el motor posee ciertas particularidades:

- Los conductos de admisión se disponen en posición casi vertical para dirigir convenientemente la entrada de aire.
- El pistón posee en su cabeza un deflector con una cavidad esférica que ayuda a crear una turbulencia giratoria en el aire (figura 2.28) y en el combustible inyectado.

En la admisión se introduce un gran volumen de aire (mariposa de gases muy abierta). En la carrera de compresión se crea un torbellino giratorio en el aire (figura 2.27) y al final de la compresión se inyecta el combustible sobre la cavidad esférica del pistón (figura 2.29), el combustible pulverizado es lanzado en dirección a la bujía junto al torbellino de aire. En la zona de la bujía se concentra una mezcla fácilmente inflamable mientras que en la periferia solo hay aire. Entonces se produce el encendido que inflama todo el combustible inyectado. En este modo de funcionamiento se reduce el consumo entre el 15 y el 20%.

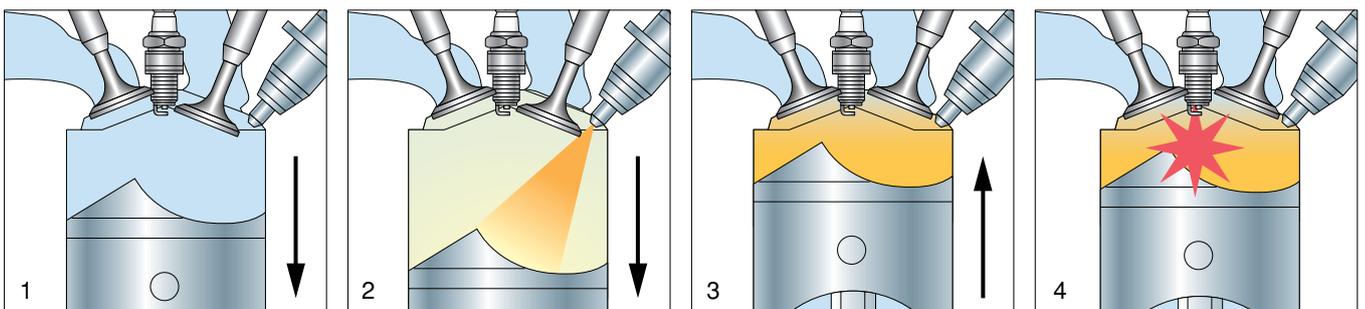


↑ **Figura 2.28.** Inyección directa. Mezcla estratificada.



↑ **Figura 2.29.** Modo estratificado pobre. Inyección en compresión.

El **modo con mezcla homogénea** se activa cuando se requiere del motor un aumento de potencia y revoluciones. El combustible se inyecta en la fase de admisión (figura 2.30) y se mezcla con el aire que está entrando en el cilindro, la mezcla obtenida es muy próxima a la estequiométrica (14,7/1) y homogénea. Este modo de funcionamiento es similar al de los motores convencionales de inyección indirecta.



↑ **Figura 2.30.** Modo homogéneo. Inyección en la admisión.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. Describe el ciclo teórico de funcionamiento en un motor Otto de cuatro tiempos.
- 2. ¿En qué momento se produce el encendido?
- 3. ¿Por qué es necesario el avance del encendido?
- 4. ¿Cuál es la fórmula para calcular el volumen unitario?
- 5. Si se aumenta el volumen del cilindro y se mantiene el de la cámara de combustión, ¿qué ocurre con la relación de compresión?
- 6. Durante la compresión, ¿qué relación existe entre el volumen y la temperatura del gas?
- 7. ¿Por qué es necesario el AAE?
- 8. ¿Qué se consigue con el RCA?
- 9. ¿Entre qué dos cotas se produce el cruce de válvulas?
- 10. ¿Por qué los motores muy revolucionados necesitan un mayor cruce de válvulas?
- 11. ¿Cuál es la causa que limita la relación de compresión en los motores Otto?
- 12. Explica cómo se realiza la transformación de la energía calorífica en trabajo.
- 13. En el motor Otto, ¿la combustión tiende a realizarse a volumen constante o a presión constante?
- 14. ¿Qué representa el diagrama de trabajo?
- 15. Un motor tiene las siguientes cotas de distribución:
 - AAA - 12°
 - RCA - 48°
 - AAE - 50°
 - RCE - 10°Dibuja el diagrama de distribución y calcula los ángulos que mantienen abiertas las válvulas de admisión y escape.
- 16. En un motor de 6 cilindros la carrera del pistón es de 82 mm y el diámetro del cilindro de 80 mm. La cámara de combustión tiene un volumen de 53 cm^3 .
Calcula la cilindrada del motor y la relación de compresión.
- 17. Dibuja el diagrama de trabajo real de un motor Otto señalando los siguientes puntos:
 - Presión máxima de compresión.
 - Momento de encendido.
 - Presión máxima de combustión.
 - AAE.
 - Volumen correspondiente a la presión máxima.



EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Por qué motivo es necesario mezclar el combustible con el aire?

- a) Para llenar el volumen del cilindro.
- b) Para refrigerar el cilindro.
- c) Para que el motor consuma menos.
- d) Porque aporta el oxígeno necesario para la combustión.

2. ¿Cómo se denomina a la distancia entre el PMS y el PMI?

- a) Calibre.
- b) Carrera.
- c) Volumen unitario.
- d) Cilindrada.

3. La relación de compresión compara el volumen de la cámara de combustión con:

- a) El volumen unitario.
- b) La cilindrada total.
- c) El volumen del cilindro más el volumen de la cámara.
- d) El volumen de admisión.

4. ¿Que se entiende por adiabático?

- a) Presión constante.
- b) Temperatura constante.
- c) Sin intercambio de calor.
- d) Volumen constante.

5. ¿En qué momento se produce el encendido?

- a) Cuando el pistón comienza a bajar en expansión.
- b) En el PMS.
- c) Cuando el pistón sube en compresión.
- d) Después del cruce de válvulas.

6. ¿Qué cota se utiliza para aprovechar la inercia que adquiere el gas de admisión?

- a) RCE.
- b) AAA.
- c) AAE.
- d) RCA.

7. ¿Cómo se comportan la presión y el volumen dentro del cilindro en el tiempo de expansión?

- a) El volumen y la presión aumentan.
- b) El volumen y la presión disminuyen.
- c) El volumen aumenta y la presión disminuye.
- d) El volumen disminuye y la presión aumenta.

8. ¿Qué tipo de pérdidas de energía se producen en el funcionamiento del motor?

- a) Pérdidas de calor.
- b) Pérdidas por el AAE.
- c) Pérdidas por el tiempo empleado en la combustión.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Calibre

MATERIAL

- Motor Otto

Cálculo de la cilindrada de un motor

OBJETIVO

Medir un cilindro, calcular el volumen unitario y la cilindrada total.

DESARROLLO

1. Se desmonta el mando de la distribución, la culata y la junta de culata en un motor de 4 cilindros.
2. Se gira el cigüeñal a través del volante motor hasta colocar un cilindro en el PMI.
3. Se mide con la sonda de un calibre la distancia entre la cabeza del pistón y el plano superior del bloque (83 mm).
4. Se coloca el pistón en el PMS y se vuelve a tomar la medida 1,5 mm.

La resta de ambas medidas será la carrera.

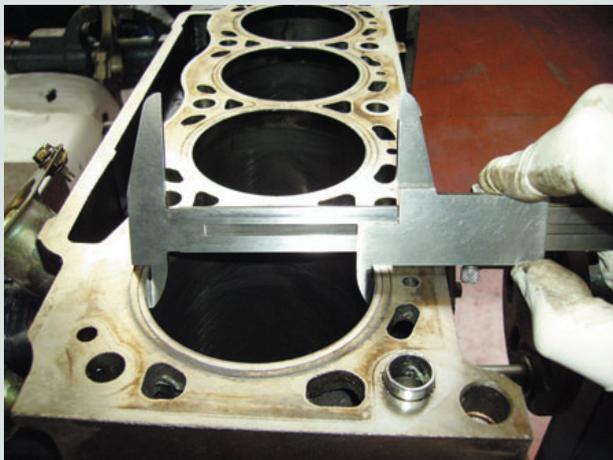
$$83 - 1,5 = 81,5 \text{ mm} = 8,15 \text{ cm.}$$

5. Se mide el diámetro del cilindro con el calibre. 80 mm = 8 cm.
6. Se calcula el volumen del cilindro.

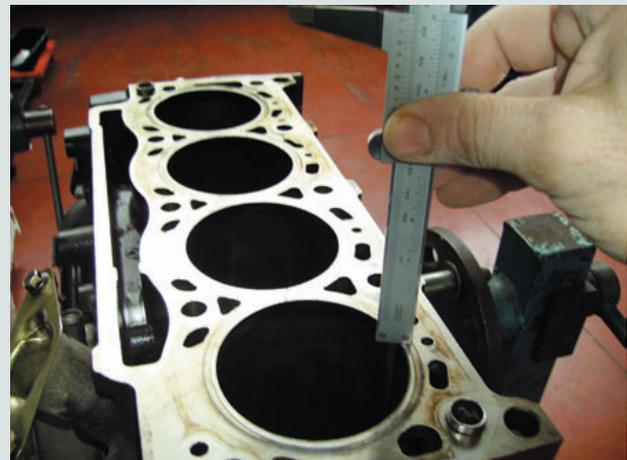
$$V_u = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L = \frac{\pi \times 8^2}{4} \times 8,15 = 409,45 \text{ cm}^3$$

7. Se calcula la cilindrada total.

$$V = 409,45 \times 4 = 1.637 \text{ cm}^3$$



↑ Figura 2.31. Medición del calibre.



↑ Figura 2.32. Medición de la carrera.

Diferencias en los diagramas teórico y práctico

MATERIAL

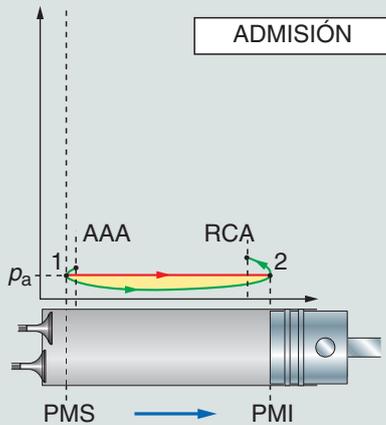
- Documentación sobre el diagrama de trabajo del motor Otto

OBJETIVO

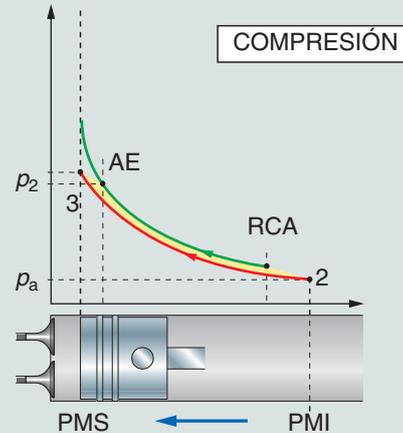
Analizar las variaciones de presión y volumen durante el desarrollo de los ciclos teórico y práctico en el motor Otto. Determinar las pérdidas de energía.

DESARROLLO

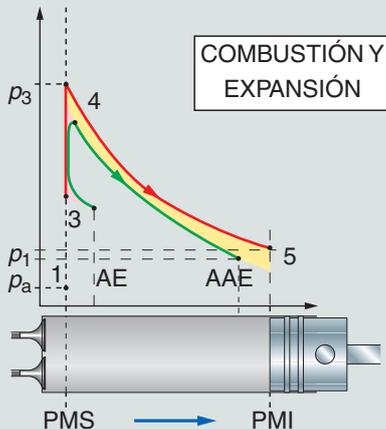
1. Dibujar la gráfica que corresponde a cada uno de los tiempos del ciclo de trabajo: admisión, compresión, combustión - expansión y escape. En color rojo el diagrama teórico y en verde el práctico.



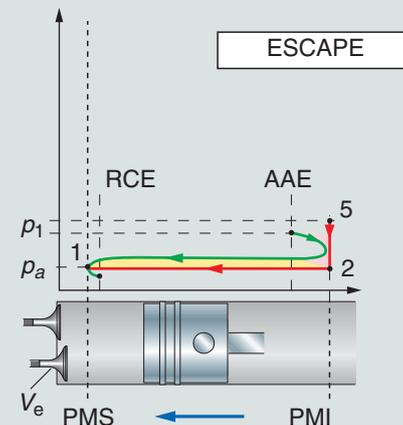
Teórico: 1 - 2, presión atmosférica.
Práctico: de AAA hasta RCA. Presión inferior a la atmosférica.
 Pérdidas por bombeo



Teórico: 2 - 3. Compresión adiabática.
Práctico: de RCA hasta Avance del Encendido.
 Pérdidas de carga



Teórico: Combustión de 3 a 4, a volumen constante.
 Expansión de 4 a 5, adiabática
Práctico: de AE hasta AAE.
 Pérdidas de tiempo en la combustión y de calor



Teórico: 5 - 2, caída de presión instantánea. De 2 a 1 a presión atmosférica
Práctico: de AAE hasta RCE.
 Pérdidas de presión por el adelanto en la apertura del escape y por bombeo



MUNDO TÉCNICO

Inyección directa de gasolina

Objetivos

Las emisiones contaminantes de hidrocarburos, óxidos nítricos y monóxido de carbono se reducen hasta un 99% con la mediación de un catalizador de tres vías.

Por su parte, el dióxido de carbono (CO_2) que se produce con motivo de la combustión, siendo el causante del «efecto invernadero», solo se puede reducir a base de disminuir el consumo de combustible.

Teniendo en cuenta estos factores vemos que los sistemas de inyección con formación externa de la mezcla (inyección en el colector de admisión MPI) no sirven para cumplir estos objetivos, por eso la necesidad de desarrollar un sistema capaz de cumplir con estos compromisos. Este sistema es el motor de inyección directa de gasolina.

Con los motores de inyección directa de gasolina se consiguen dos objetivos principales que están vigentes para hoy y con vistas al futuro, estos objetivos son: reducir el consumo de combustible y con este también las emisiones contaminantes de escape.

Las diferentes marcas de automóviles cada vez más se están decidiendo por equipar sus modelos de gasolina con motores de inyección directa. Primero fue la marca japonesa Mitsubishi con los motores GDi, ahora le siguen Renault con los motores IDE, el grupo PSA con los motores HPI, y Volkswagen con los motores FSi.

Ventajas

- Reducida estrangulación en los modos operativos con mezcla «estratificada». En estos modos operativos se trabaja con un valor lambda comprendido entre 1,55 y 3. Esto permite abrir más la mariposa y aspirar más aire, por que tiene que superar una menor resistencia que provocaba la válvula de mariposa al estar medio cerrada.
- En el modo estratificado el motor trabaja con un valor lambda desde 1,6 hasta 3, consiguiendo una reducción de consumo de combustible considerable.
- Menores pérdidas de calor cedido a las paredes de los cilindros. Esto es debido a que en el modo de mezcla «estratificada» la combustión únicamente tiene lugar en la zona próxima de la bujía, esto provoca menores pérdidas de calor cedido a la pared del cilindro, con lo cual aumenta el rendimiento térmico del motor.
- Debido al movimiento intenso de la mezcla en el modo homogéneo, el motor posee una alta compatibilidad con la recirculación de gases de escape, equivalente hasta un 25%.

Para aspirar la misma cantidad de aire fresco que cuando trabaja con bajos índices de recirculación de gases se procede a abrir la mariposa de gases un tanto más. De esa forma se aspira el aire superando una baja resistencia y disminuyen las pérdidas debidas a efectos de estrangulamiento.

- Con la inyección directa del combustible en el cilindro se extrae calor del aire de admisión, produciéndose un efecto de refrigeración de este. La tendencia al picado se reduce, lo que permite aumentar a su vez la compresión. Una mayor relación de compresión conduce a una presión final superior en la fase de compresión, con lo cual también aumenta el rendimiento térmico del motor.
- Es posible reducir el régimen de ralentí, y se facilita el arranque en frío debido a que al reanudar la inyección el combustible no se deposita en las paredes de la cámara de combustión.

La mayor parte del combustible inyectado puede ser transformada de inmediato en energía utilizable. El motor funciona de un modo muy estable, incluso al trabajar con regímenes de ralentí más bajos.

Inconvenientes

- Uno de los problemas principales que plantea la inyección directa de gasolina es el tratamiento de los gases de escape para cumplir las normativas anticontaminación. Los óxidos nítricos que se producen con motivo de la combustión en el modo «estratificado» y en el modo «homogéneo-pobre» no pueden ser transformados suficientemente en nitrógeno por medio de un catalizador convencional de tres vías. Solo desde que ha sido desarrollado el catalizador-acumulador de NO_x también se cumple la norma de emisiones de escape EU4 en estos modos operativos. Los óxidos nítricos se acumulan internamente en ese catalizador y se transforman en nitrógeno mediante medidas específicas para ello.
- Otro inconveniente reside en los problemas que plantea el azufre en la gasolina. Debido a la similitud química que tiene con respecto a los óxidos nítricos, el azufre también se almacena en el catalizador-acumulador de NO_x y ocupa los sitios destinados a los óxidos nítricos. Cuanto mayor es el contenido de azufre en el combustible, tanto más frecuentemente se tiene que regenerar el catalizador-acumulador, lo cual consume combustible adicional.

Christian Carmona A.
Técnico GMC.

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Otto
- <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/>
- http://www.k-wz.de/vmotor/v_omoters.html
- http://www.youtube.com/watch?v=V_yRNFkFVcs
- http://www.todomotores.cl/mecanica/eficiencia_termica.htm
- <http://www.solociencia.com/videos/online/Motor%20combustion%20interna/>
- http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_teorico.pdf
- <http://www.eve.es/aula/motores.swf>
- <http://docentes.educacion.navarra.es/~rurdacii/motorcuatrotiempos.htm>

3

El motor Diesel de cuatro tiempos

vamos a conocer...

1. Características del motor Diesel
2. Constitución del motor Diesel
3. Ciclo de trabajo del motor Diesel
4. Compresión y combustión
5. Intercambio de gases
6. Sobrealimentación
7. Tipos de motores Diesel de cuatro tiempos
8. Comparación entre motores Diesel y Otto

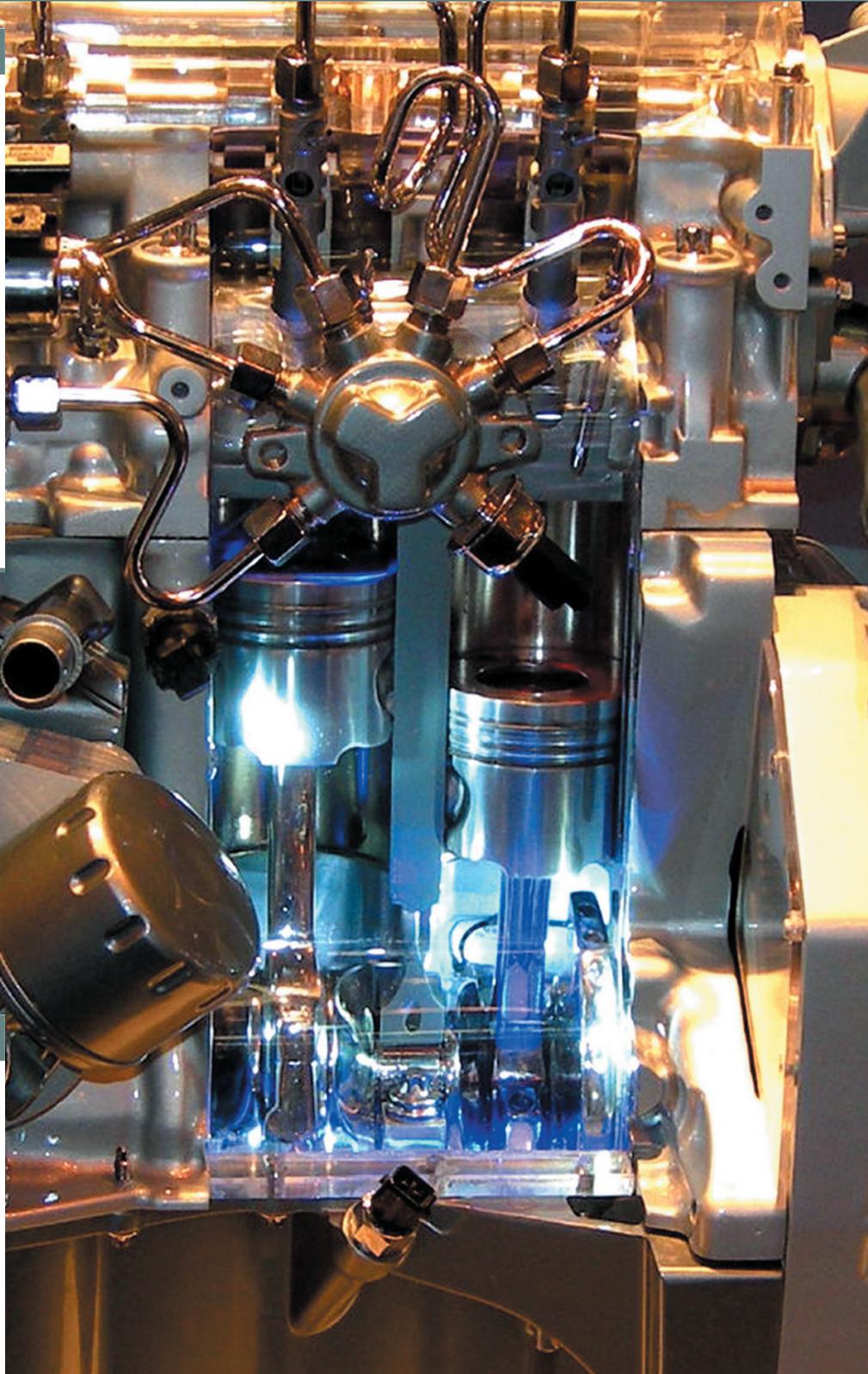
PRÁCTICA PROFESIONAL

Desmontaje de un motor Diesel

Identificación de los componentes de un motor Diesel

MUNDO TÉCNICO

Motores Diesel, evolución e historia



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las características y el funcionamiento de los motores Diesel de cuatro tiempos.
- Comprenderás el proceso de combustión en los motores Diesel.
- Interpretarás y analizarás los diagramas teórico y real en los motores Diesel.
- Sabrás establecer las diferencias de funcionamiento entre los motores Otto y Diesel.

CASO PRÁCTICO INICIAL

situación de partida

Pedro es el coordinador de formación para la red de concesionarios de Renault en Castilla y León. Actualmente prepara un curso sobre motores Diesel cuyo objetivo es actualizar los conocimientos del personal de talleres y dar a conocer la tecnología de los motores Diesel que la marca comercializa en sus nuevos modelos de automóviles.

Los contenidos se centran en los motores Diesel rápidos de inyección directa turboalimentados, su funcionamiento y el estudio de sus componentes.

Comienza el curso explicando que el funcionamiento del motor Diesel se diferencia esencialmente del motor Otto en la forma de realizar la mezcla, en el modo de producirse el encendido y en el

desarrollo de la combustión. La mezcla se lleva a cabo en el interior del cilindro y la combustión se inicia por autoencendido.

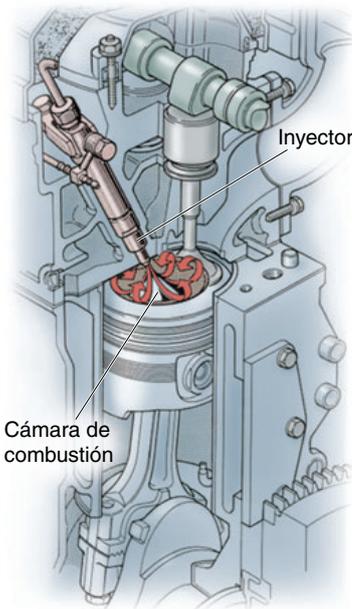
Después de aclarar los aspectos básicos se estudian los motores con cámara auxiliar o de inyección indirecta que se montaron en los automóviles en los años ochenta y noventa, y los motores de inyección directa que es la tecnología empleada actualmente y que debido a las altas presiones de inyección y a la precisión del control electrónico obtienen un alto rendimiento y un bajo consumo de combustible

Finalmente se trata el tema de la sobrealimentación y el control electrónico de la inyección.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Dónde se prepara la mezcla en un motor Diesel?
2. ¿Cómo se produce el inicio de la combustión?
3. ¿Por qué se necesitan relaciones de compresión altas?
4. ¿Cómo se desarrolla la combustión?
5. ¿Qué ventajas tiene la sobrealimentación en los motores Diesel?
6. ¿Qué diferencias existen entre los motores Otto y Diesel?



↑ **Figura 3.1.** Motor Diesel.

1. Características del motor Diesel

Es un **motor térmico de combustión interna** que funciona siguiendo el ciclo Diesel.

En la admisión se introduce únicamente aire, que se mezcla con el combustible dentro del cilindro.

Dispone de un **sistema de inyección** que introduce el combustible pulverizado en la cámara de combustión.

La inflamación se obtiene por contacto con el aire, que ha adquirido una alta temperatura debido a la fuerte compresión.

Su ciclo de funcionamiento se realiza en cuatro tiempos:

- **Admisión de aire puro.**
- **Compresión.**
- **Inyección, combustión y expansión.**
- **Escape de los gases quemados.**

Igual que el motor Otto, el ciclo de cuatro tiempos se desarrolla en dos vueltas de cigüeñal.

1.1. Combustible

El motor Diesel consume generalmente gasóleo: un carburante que se obtiene por destilación del petróleo, tiene una densidad de 0,81 a 0,85 kg/L a 15 °C y un poder calorífico de unos 42.000 kJ/kg (10.000 kcal/kg).

Debe estar exento de agua e impurezas para proteger el sistema de inyección.

El gasóleo tiene que inflamarse rápidamente al tomar contacto con el aire comprimido en el momento de ser inyectado, por tanto, debe tener una temperatura de inflamación baja. Su facilidad de inflamación se mide por el **índice de cetano**, cuanto mayor es este, menor será la temperatura necesaria para inflamarlo.

La viscosidad de este combustible aumenta con las bajas temperaturas. Cuando se superan los 25 °C bajo cero, presenta dificultades a su paso por filtros y conductos del sistema de inyección, haciéndose muy difícil el arranque en frío. En algunos motores destinados a climas fríos, se dispone de un sistema calentador en el filtro de combustible.

También se emplea actualmente el biodiésel, un combustible que se obtiene de diferentes aceites vegetales.

1.2. Formación de la mezcla

El aire se mezcla con el combustible dentro del cilindro al final de la compresión. El sistema de inyección proporciona la presión necesaria para que el inyector introduzca el combustible, finamente pulverizado, en la cámara de combustión (figura 3.1).

Debido al poco tiempo disponible para formar la mezcla, es preciso que el aire comprimido tenga una alta temperatura para facilitar la gasificación del combustible. Además, es necesario que adquiera una gran turbulencia para que se mezcle con la mayor cantidad posible de aire, de forma que cada gota de combustible esté rodeada por el oxígeno suficiente para quemarse.

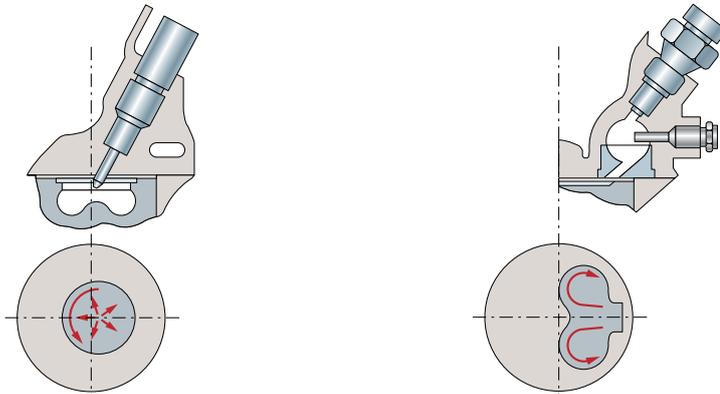
No es necesario mantener una proporción en la mezcla, sino que se precisa un exceso de aire con el fin de lograr una combustión completa. La cantidad máxima de combustible queda limitada por la formación de humos negros en el escape, cuando la cantidad de aire es insuficiente.

La formación de la mezcla depende esencialmente del tipo de cámara de combustión empleada en el motor:

- **Motores de inyección directa**, en los que la turbulencia del aire es relativamente baja (figura 3.2). En estos motores la formación de la mezcla depende principalmente del sistema de inyección que proporciona altas presiones, con buena penetración del combustible en el aire, distribuyéndose uniformemente. Se emplea un inyector de varios orificios.
- **Motores con cámara auxiliar o de inyección indirecta** (figura 3.3), en los que se consiguen altas turbulencias debido a la combustión parcial que tiene lugar en la precámara y que se propaga a gran velocidad a través de estrechos conductos. En este caso la presión de inyección es menor, empleándose inyectores de un solo orificio.

caso práctico inicial

Los Diesel con cámara auxiliar se usaron en los años 80 y 90, actualmente se emplean motores de inyección directa.



↑ **Figura 3.2.** Turbulencia en un Diesel de inyección directa.

↑ **Figura 3.3.** Turbulencia en la precámara de combustión de un motor Diesel de inyección indirecta.

1.3. Encendido

El combustible es inyectado al final de la compresión y se enciende porque el aire comprimido está a una temperatura suficientemente alta como para provocar el inicio de la combustión (superior a 500 °C).

El encendido se produce antes de que el pistón llegue al PMS. Desde el comienzo de la inyección hasta que empieza a inflamarse el combustible, ya mezclado con el aire, transcurre un tiempo llamado retraso del encendido. Este retraso ha de ser compensado con un avance a la inyección.

En los motores con cámara auxiliar son necesarias bujías de calentamiento para facilitar el arranque en frío.

1.4. Carga del cilindro

El llenado de aire del cilindro en un motor Diesel ha de ser siempre el máximo posible, ya que el exceso de aire facilita una combustión completa. No existe mariposa de gases y el colector de admisión no presenta ninguna estrangulación en el paso de aire. La regulación de la carga del motor se consigue variando la cantidad de combustible inyectado mediante el pedal acelerador, que actúa sobre elemento dosificador del sistema de inyección.



2. Constitución del motor Diesel

La estructura básica del motor Diesel es muy similar a la del motor Otto. Las principales diferencias se pueden encontrar en el sistema de inyección y en la forma de las cámaras de combustión (figura 3.4).

Los demás elementos constructivos presentan unas características que se adaptan a sus duras condiciones de trabajo. Es un motor que desarrolla altas presiones en la compresión y en la combustión, alcanzando temperaturas muy elevadas, por lo que sus piezas han de ser robustas y con unos precisos ajustes. Como consecuencia, el motor Diesel es más pesado y tiene un mayor coste de fabricación.

Los cilindros se fabrican con aleaciones especiales y reciben tratamientos de endurecimiento superficial. Los pistones se construyen reforzados en diferentes zonas y con unas características específicas. El alojamiento del bulón, encargado de transmitir la fuerza a la biela, es más resistente. Se incorporan anillos de acero en la ranura del segmento superior para soportar las altas temperaturas. La dilatación térmica se regulariza de forma muy precisa mediante la inserción de placas de acero. Los pistones generalmente se refrigeran por medio de surtidores de aceite.

Otros elementos que se refuerzan convenientemente en el motor Diesel son: el cigüeñal, las bielas, los soportes de bancada y los cojinetes de fricción. También los sistemas de refrigeración y engrase se adecuan a las mayores exigencias de este tipo de motor.

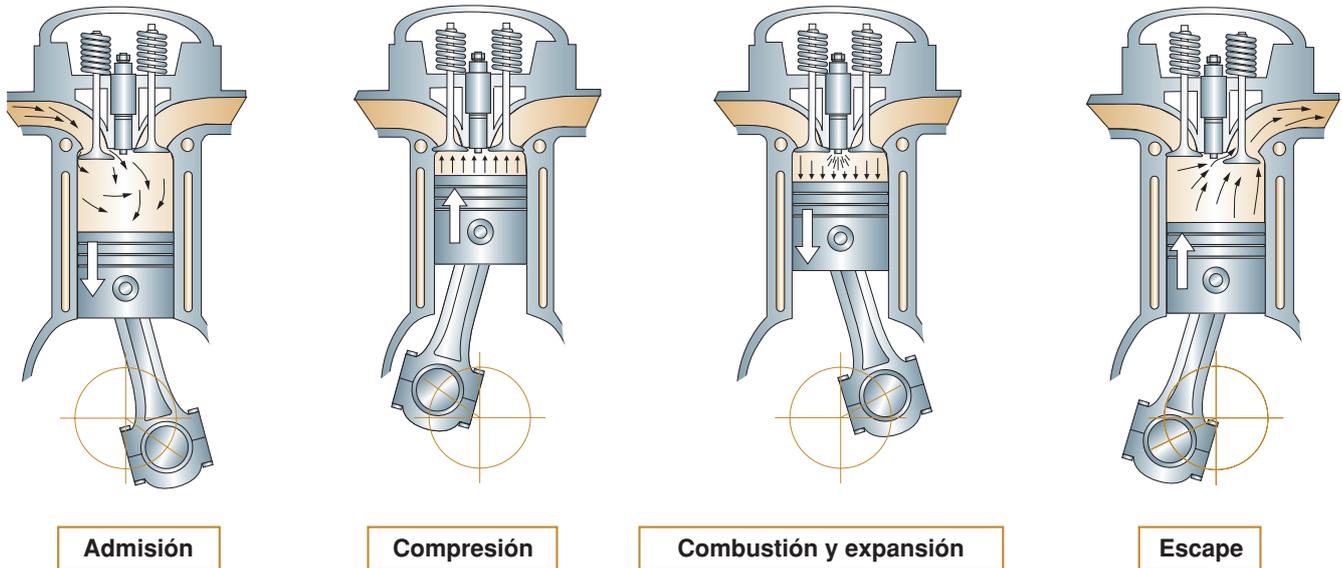


↑ **Figura 3.4.** Constitución de un motor Diesel.

3. Ciclo de trabajo del motor Diesel

3.1. Ciclo teórico del motor Diesel de cuatro tiempos

El ciclo teórico del motor Diesel de cuatro tiempos se desarrolla en cuatro carreras del pistón, correspondiente a dos vueltas de cigüeñal (figura 3.5).



↑ Figura 3.5. Ciclo de trabajo del motor Diesel de cuatro tiempos.

1^{er} tiempo. Admisión

La válvula de admisión se abre y el pistón comienza a descender desde el PMS; el aire empieza a entrar en el cilindro.

En teoría el pistón desciende manteniendo una presión igual a la atmosférica en el interior del cilindro. En el PMI la válvula de admisión se cierra y el cilindro queda completamente lleno de aire.

2^o tiempo. Compresión

Las válvulas están cerradas, el pistón sube desde el PMI hasta el PMS. Se comprime el aire, según la relación de compresión del motor, entre 14 y 22 veces el volumen de la cámara de combustión. Con esta elevada compresión se obtiene una alta temperatura capaz de inflamar el combustible (600–650 °C). La energía necesaria para la compresión es aportada por el volante de inercia.

3^{er} tiempo. Combustión y expansión

En el PMS el combustible se inyecta finamente pulverizado, se mezcla con el aire y se inflama de forma inmediata.

La combustión se prolonga mientras dura la inyección, en este tiempo el pistón avanza. El incremento de volumen en el cilindro va emparejado al aumento de la temperatura, esto hace que el valor de la presión no varíe mientras se realiza la combustión.



Una vez terminada la inyección el pistón continúa descendiendo hasta el PMI produciéndose la expansión de los gases. Esta es la carrera motriz, la única que aporta trabajo al ciclo.

4º Tiempo. Escape

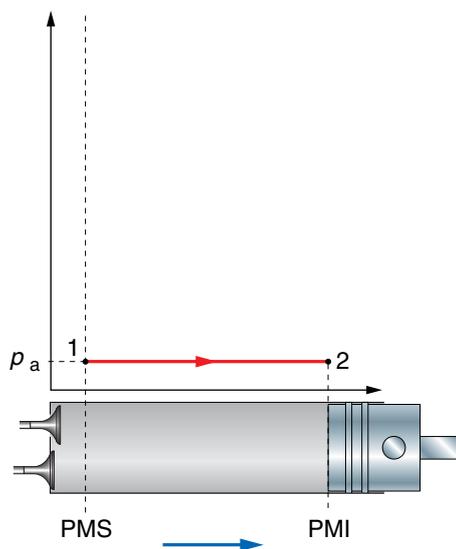
La válvula de escape se abre en el PMI, la presión residual existente dentro del cilindro expulsa los gases quemados, la presión y la temperatura bajan rápidamente. El resto de estos gases son barridos por el pistón en su ascenso. Cuando el pistón llega al PMS la válvula de escape se cierra.

El pistón desciende en admisión y el ciclo se repite.

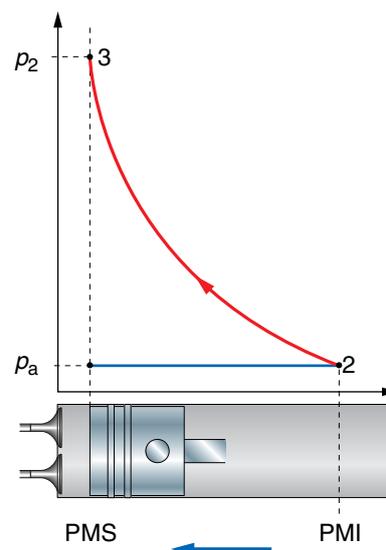
Diagrama del ciclo teórico del motor Diesel

El diagrama de trabajo permite seguir la evolución de la presión y el volumen dentro del cilindro en el transcurso de los cuatro tiempos del ciclo teórico del motor Diesel.

Admisión: 1-2. En el PMS la válvula de admisión se abre y el pistón desciende en admisión (figura 3.6), el cilindro se llena con aire a la presión atmosférica (isóbara). En el PMI se cierra la válvula de admisión.



↑ Figura 3.6. Admisión de aire.

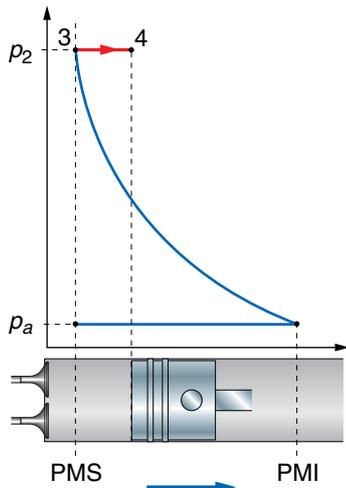


↑ Figura 3.7. Compresión.

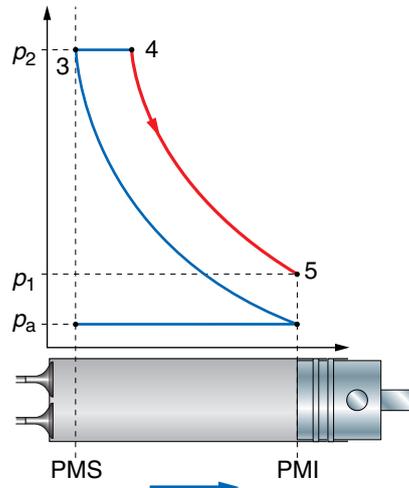
Compresión: 2-3. Las válvulas de admisión y escape están cerradas (figura 3.7), el cilindro se encuentra lleno de aire a presión atmosférica (p_a), el pistón se desplaza del PMI al PMS, el aire queda comprimido a la presión (p_2). Debido a que solo se comprime aire es posible obtener presiones muy elevadas. El aumento de presión eleva la temperatura del aire (adiabática 2-3).

La compresión requiere un aporte de energía (trabajo negativo).

Combustión: 3-4. El pistón se encuentra en el PMS (figura 3.8), comienza la inyección y simultáneamente la combustión. El calor liberado durante la combustión es aportado mientras el pistón desciende, de manera que la presión se mantiene constante (isóbara 3-4).



↑ Figura 3.8. Combustión.

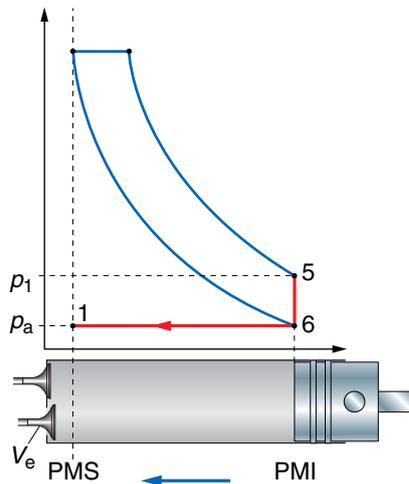


↑ Figura 3.9. Expansión.

Expansión: 4-5. En el punto 4 ha terminado la combustión (figura 3.9), el pistón continúa descendiendo y la presión pasa de p_2 a p_1 . La expansión de los gases genera un trabajo positivo. Esta carrera se supone adiabática.

Principio de escape: 5-6. El interior del cilindro se encuentra a la presión (p_1) el pistón está en el PMI y se abre la válvula de escape (figura 3.10), la presión desciende instantáneamente hasta la presión atmosférica (p_a). El calor residual que no ha sido convertido en trabajo se evacua al exterior. La sustracción de calor (5-6) en teoría es isócara (a volumen constante).

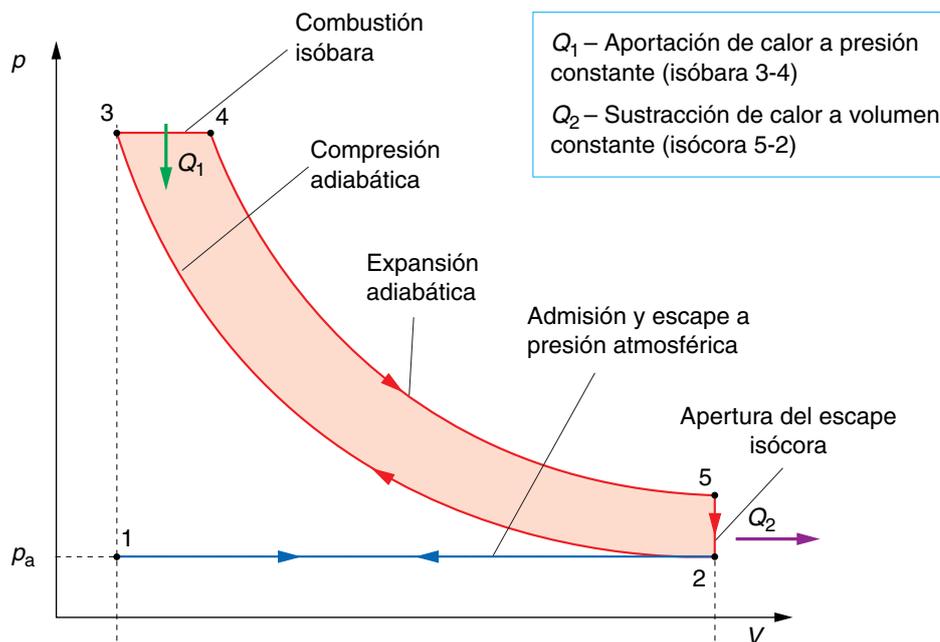
Expulsión de los gases: 6-1. El pistón se desplaza desde el PMI al PMS expulsando los gases quemados, la presión atmosférica se mantiene durante toda la carrera (isóbara 6-1). La válvula de escape se cierra cuando el pistón llega al PMS.



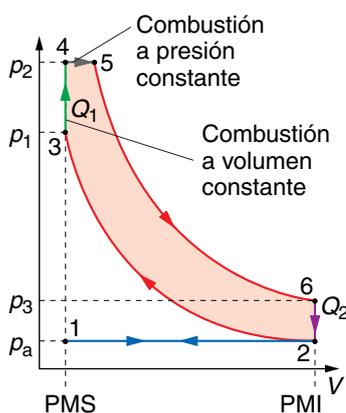
↑ Figura 3.10. Escape.

- Las carreras de admisión y de escape en teoría se realizan ambas a presión atmosférica y no intervienen en el rendimiento del ciclo.
- La carrera de compresión (2-3) y la de expansión (4-5) se suponen adiabáticas, es decir, sin intercambio de calor.

- La aportación de calor (Q_1) mediante la combustión (3-4) se realiza a presión constante.
- La sustracción de calor (Q_2) en la apertura de la válvula de escape (5-2) se supone isócara. Es decir, la presión varía de forma instantánea, mientras el volumen permanece constante.



↑ **Figura 3.11.** Evoluciones teóricas del diagrama de trabajo Diesel.



↑ **Figura 3.12.** Ciclo teórico Diesel mixto.

El ciclo Diesel hasta aquí estudiado es útil solo para motores muy lentos, para los motores destinados a vehículos de tracción se ha creado un ciclo **Diesel mixto** cuyo funcionamiento es más adecuado para motores rápidos.

La característica principal del ciclo mixto es que el aporte de calor Q_1 se realiza en dos fases (figura 3.12):

- Combustión a volumen constante (isócara 3-4). La inyección en el punto 3 inflama el combustible y la presión aumenta instantáneamente.
- Combustión a presión constante (isóbara 4-5). El pistón comienza a descender, aumenta el volumen y la presión se mantiene constante hasta el punto 5.

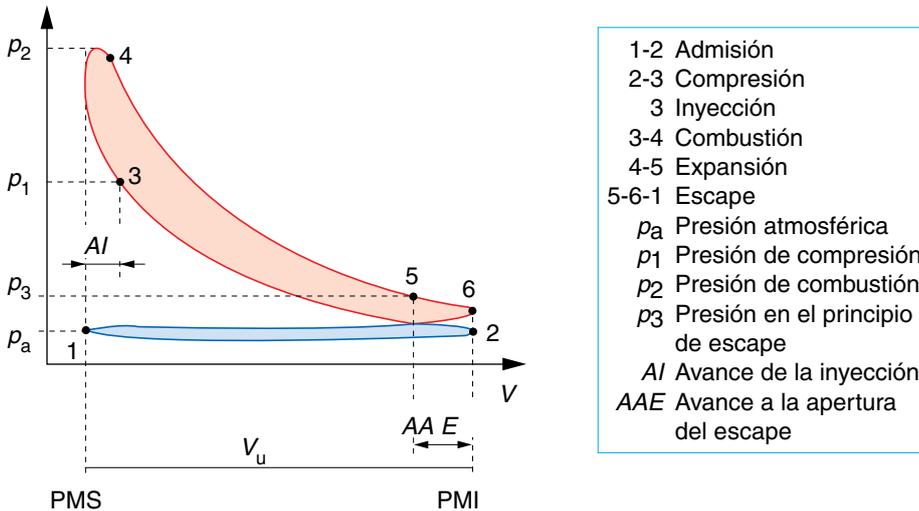
El pistón realiza solo un pequeño recorrido durante la combustión (4-5). Esto permite que los motores Diesel de ciclo mixto puedan funcionar con regímenes elevados.

3.2. Ciclo práctico del motor Diesel de cuatro tiempos

El ciclo práctico del motor Diesel describe el proceso real de funcionamiento del motor, las condiciones en las que se desarrolla este ciclo presentan importantes diferencias con el teórico y se representan en el diagrama del ciclo real (figura 3.13).

Diagrama del ciclo real

Admisión: 1-2. Cuando el pistón pasa por el PMS la válvula de admisión ya está abierta debido al avance de la apertura de admisión. El pistón desciende hasta el PMI manteniendo una presión por debajo de la atmosférica en el interior del cilindro, debido a las pérdidas de carga. Cuando comienza a subir, la válvula de admisión aún permanece abierta un instante con el fin de aprovechar la velocidad de entrada que ha adquirido el aire. Superado el PMI la válvula se cierra y comienza la compresión.



← **Figura 3.13.** Diagrama real del ciclo Diesel.

Compresión: 2-3. Las dos válvulas están cerradas, el pistón asciende comprimiendo el aire que se encuentra dentro del cilindro hasta la presión (p_1). La compresión no es adiabática, existe intercambio de calor a través de las paredes del cilindro.

Inyección y combustión: 3-4. La inyección comienza en el punto 3, cuando el pistón sube en compresión. El incremento de presión no es instantáneo, se necesita tiempo para que se inicie la combustión y se libere el calor. Este tiempo se compensa adelantando el momento de la inyección (AI).

En una primera fase se produce una subida muy rápida de la presión pero no se realiza a volumen constante ya que el pistón efectúa un pequeño recorrido desde el punto 3 hasta el PMS. En una segunda fase el pistón comienza a descender, la combustión continúa hasta el punto 4, en este recorrido la presión no se mantiene constante.

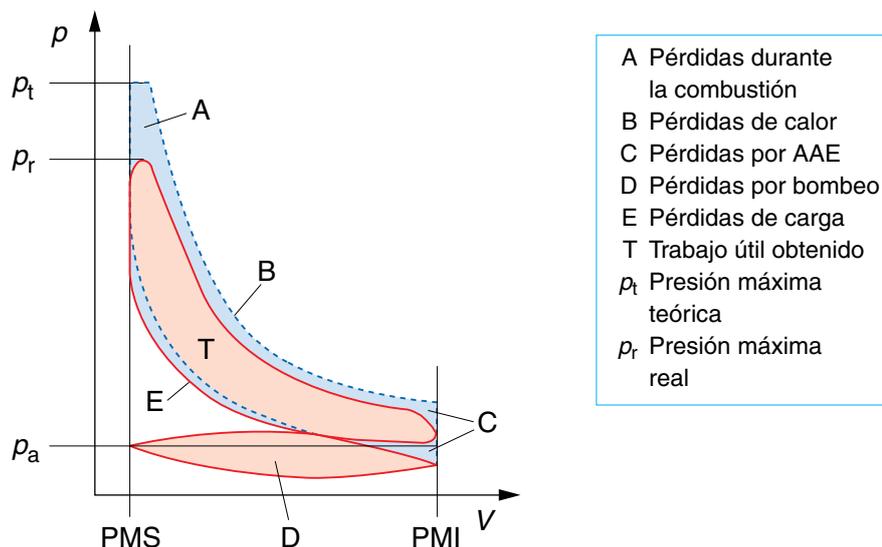
Expansión: 4-5. El pistón desciende en la carrera de trabajo, esta carrera no es adiabática ya que parte del calor es evacuado al sistema de refrigeración a través de las paredes del cilindro. La carrera de expansión termina en el punto 5, cuando se abre la válvula de escape, antes de que el pistón llegue al PMI.

Principio de escape: 5-6. En el punto 5 el interior del cilindro se encuentra a la presión (p_3), para evacuar esta presión residual se hace necesario un avance en la apertura del escape (AAE). Durante este tiempo el pistón hace el recorrido (5-6). La caída de la presión y por tanto la sustracción de calor no se realiza a volumen constante (no isócara).

Expulsión de los gases: 6-1. La presión ya ha descendido en el interior del cilindro y el pistón comienza a subir desde el PMI; los gases quemados son expulsados al exterior mientras se mantiene una presión ligeramente superior a la atmosférica. La válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS, con el fin de aprovechar la velocidad de salida de los gases y mejorar su evacuación.



El ciclo práctico tiene un rendimiento menor que el teórico debido a las pérdidas que se producen en el funcionamiento real del motor. Las causas son muy similares a las que se estudiaron en los motores Otto.



→ **Figura 3.14.** Pérdidas en el diagrama de trabajo.

- Pérdidas por bombeo (D) debidas al trabajo negativo que supone la carga y evacuación de los gases en el cilindro.
- Pérdidas causadas por el desplazamiento del pistón durante la combustión (A).
- Pérdidas por la evacuación de calor al sistema de refrigeración (B).
- Pérdidas por el tiempo empleado en la evacuación de calor en la apertura del escape (C).
- Pérdidas de presión por el llenado defectuoso en admisión (E).

4. Compresión y combustión

caso práctico inicial

El motor Diesel se diferencia esencialmente del motor Otto en la forma de realizar la mezcla, en el modo de producirse el encendido y en el desarrollo de la combustión.

El rendimiento que se obtiene en el motor Diesel está en función de la eficacia con que realiza la transformación de la energía propia de los motores térmicos, de calor en trabajo. En esta transformación los factores que influyen de manera más decisiva son: la relación de compresión, la presión y temperatura que se alcanzan en la combustión y la forma en que esta se desarrolla.

4.1. Compresión

El combustible se inflama por contacto con el aire caliente, lo que requiere un alto grado de compresión para elevar suficientemente la temperatura.

En el motor Diesel se comprime solo aire por lo que admite niveles altos de compresión, esto supone un aumento de temperatura que mejora las condiciones para realizar la mezcla ya que el aire transmite mayor cantidad de calor al combustible cuando es inyectado, y por tanto la inflamación es más rápida y la combustión más completa.

Relación de compresión	Temperatura °C	Presión de compresión
12	665	27
14	700	33
16	731	40
18	759	46
20	786	54
22	810	60

El rendimiento térmico que se obtiene en función de la relación de compresión puede calcularse aplicando la misma expresión que en los motores Otto, con la diferencia de que el coeficiente de modificación de los gases (γ), para motores Diesel cambia su valor debido a que se comprime solamente aire:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}}$$

η_t = rendimiento térmico

R_c = relación de compresión

γ = coeficiente de modificación de los gases, cuyo valor es 1,4 para motores Diesel

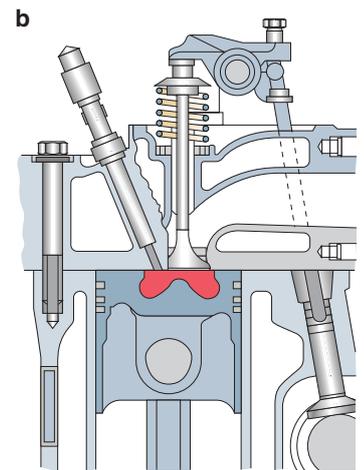
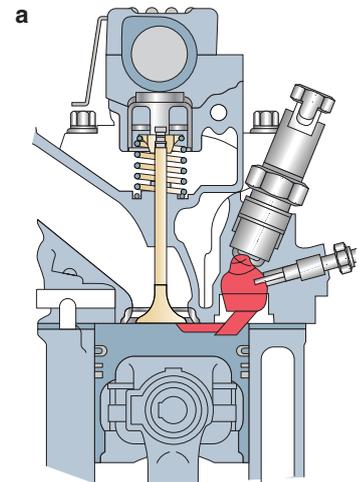
Las presiones alcanzadas al final de la compresión oscilan entre 30 y 60 bares dependiendo del tipo de motor.

En motores de inyección directa los valores medios de relación de compresión están entre 16 / 1 y 19 / 1.

En motores con cámara auxiliar (inyección indirecta) se usan relaciones de compresión entre 20 / 1 y 23 / 1.

El empleo de relaciones de compresión superiores en los motores de inyección indirecta tiene su explicación en la necesidad de compensar la caída de presión que se produce cuando el aire es obligado a pasar a través de los estrechos conductos que comunican la precámara con la cámara principal.

Relaciones de compresión superiores no son aconsejables ya que plantean problemas mecánicos como la estanqueidad entre pistón y cilindro, además de que el trabajo que se aporta para conseguir más presión no compensa el aumento de rendimiento que se obtiene.



↑ **Figura 3.15.** Diesel de inyección: a) indirecta, b) directa.

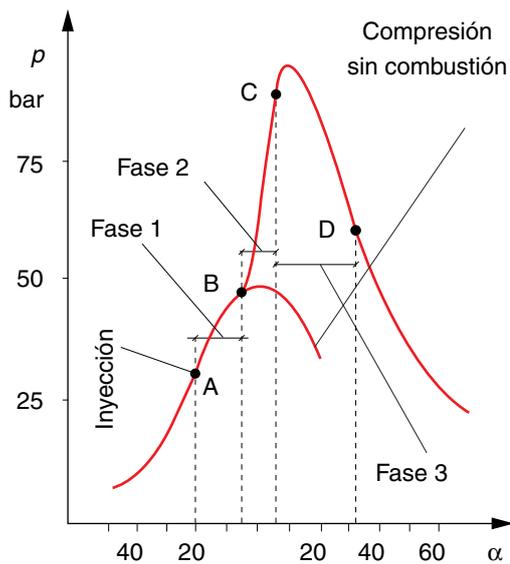
EJEMPLO

Un motor Diesel tiene una relación de compresión de 20 a 1. ¿Cuál es su rendimiento térmico?

Solución:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{20^{1,4-1}} = 0,7 \rightarrow \eta_t = 70\%$$

4.2. Combustión



↑ **Figura 3.16.** Desarrollo de la combustión.

El combustible es inyectado en la cámara de combustión, donde la presión y temperatura son muy altas, pero no se inflama instantáneamente, sino que antes tiene que mezclarse con el aire y adquirir la temperatura suficiente.

Las condiciones necesarias para conseguir una combustión completa son:

- Alta temperatura al final de la compresión.
- Gran turbulencia en el aire comprimido.
- Buena pulverización del combustible inyectado.
- Suficiente oxígeno para quemar todo el combustible inyectado.

El proceso de combustión (figura 3.16) se puede dividir en tres fases para su estudio.

Fase 1. El comienzo de la inyección se produce con cierto avance respecto del PMS. Las primeras gotas de combustible introducidas (A) se calientan, se vaporizan y reaccionan con el oxígeno del aire comenzando a arder, esta combustión inicial eleva la temperatura lo suficiente para gasificar el combustible que continúa entrando pero aún no se ha inflamado.

Durante cierto tiempo se acumula una cantidad de combustible que se encuentra bien mezclada con el aire. Entonces se produce la combustión (B).

El tiempo que transcurre entre el principio de la inyección y el encendido de la mezcla acumulada se denomina **retraso del encendido (AB)**.

Fase 2. Se quema la parte de combustible acumulada durante el retraso (C), la velocidad de combustión es muy alta, produciéndose una brusca subida de presión (70 a 90 bar). Este es el origen del ruido y la marcha dura característica de los motores Diesel.

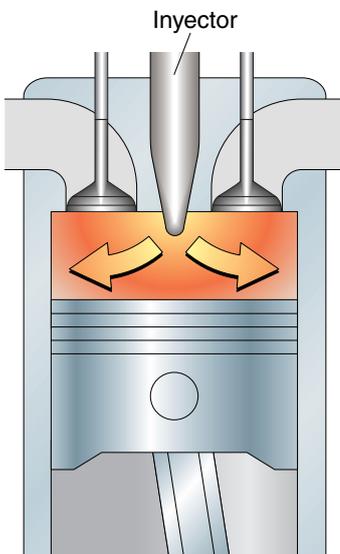
La incidencia de este efecto sobre el funcionamiento del motor dependerá del tiempo de retraso del encendido. Si el retraso es grande, también lo es la acumulación de combustible, y el resultado de su brusca combustión se dejará notar con mayor intensidad.

El retraso del encendido se reduce usando un combustible de fácil autoencendido, con el índice de cetano adecuado. Regulando el caudal de inyección, para evitar que se acumule mucha cantidad de combustible al principio. Con una alta turbulencia en el aire comprimido y una adecuada presión de inyección. Proporcionando una o varias preinyecciones antes de la inyección principal.

Fase 3. La temperatura ahora es muy alta dentro del cilindro, la inyección continúa y el combustible, que sigue entrando, se mezcla con el resto del oxígeno y se quema progresivamente hasta el final de la inyección (D), a partir de este momento se quema la última cantidad de combustible inyectado finalizando la combustión. La velocidad de combustión dependerá de las características de la inyección como el caudal, la presión y la forma del chorro.

El avance a la inyección compensa el retraso del encendido, de tal forma que cuando la combustión genere los máximos valores de presión, el pistón se encuentre en las proximidades del PMS, comenzando a descender. El sistema regula el momento de la inyección en función del número de revoluciones y la carga del motor.

El motor Diesel obtiene un buen rendimiento con un bajo consumo debido a su alta relación de compresión, y a las elevadas presiones obtenidas en la combustión, logrando un mejor aprovechamiento de la energía térmica del combustible.



↑ **Figura 3.17.** Inyección del combustible.

5. Intercambio de gases

Igual que los motores Otto, los Diesel disponen de las cotas de distribución cuyo fin es mejorar el llenado de los cilindros y la evacuación de los gases residuales de la combustión, los gases quemados no contienen oxígeno por lo que interesa su total evacuación dejando espacio disponible para ser ocupado por el aire puro. El diagrama de distribución es muy similar en ambos motores (figura 3.18).

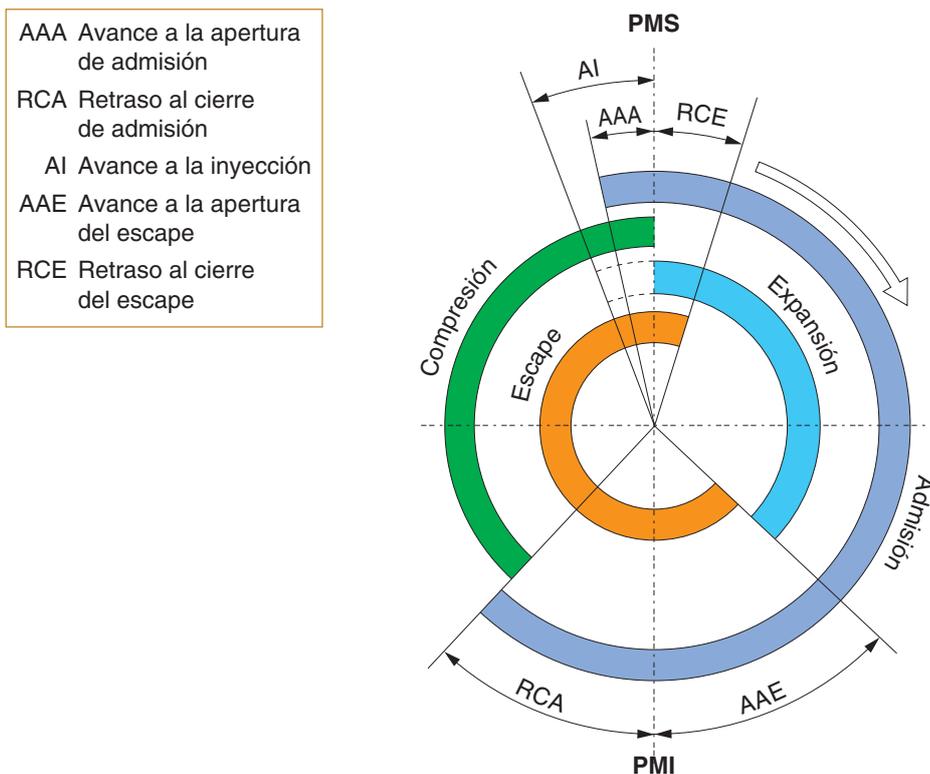
La válvula de escape abre antes de que el pistón llegue el PMI (AAE) para descargar con rapidez la presión residual al final de la expansión.

Con el retraso en el cierre del escape (RCE) se aprovecha la inercia adquirida por los gases para mejorar su evacuación.

La válvula de admisión abre antes de que el pistón llegue al PMS (AAA) para que la velocidad de salida de los gases de escape arrastre a los de admisión venciendo su inercia.

El retraso en el cierre de admisión (RCA) consigue que los gases sigan entrando en el cilindro por la velocidad que aún conservan al final de la admisión.

Los motores Diesel rápidos sobrealimentados tienen menores ángulos en el AAA y en el RCE debido a que la entrada de aire en el cilindro es forzada y la inercia del gas en estos casos tiene menos importancia para el llenado. En algunos casos estas cotas son negativas.



↑ **Figura 3.18.** Diagrama de distribución Diesel.

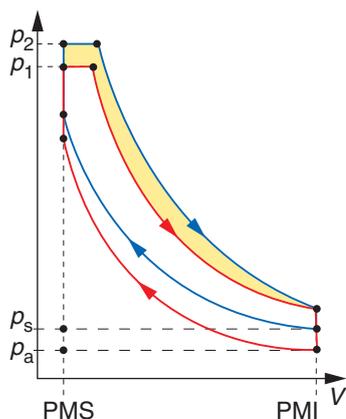


6. Sobrealimentación

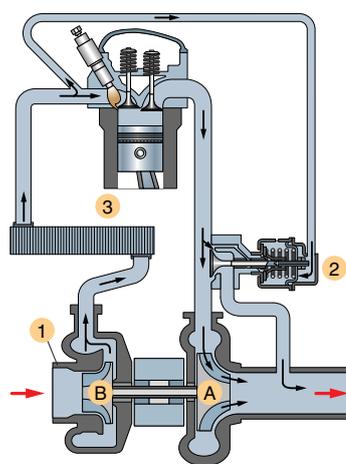
En los motores Diesel está muy extendido el empleo de la sobrealimentación ya que mejora el rendimiento y aumenta la potencia manteniendo la misma cilindrada (figura 3.19).

Este método consiste en forzar la entrada de aire en el cilindro, para lo cual se monta un dispositivo en el conducto de admisión que comprime el aire antes de introducirlo, con lo que se logra aumentar la masa de aire admitida para un mismo volumen, y por consiguiente puede aumentarse también la cantidad de combustible que es posible quemar en cada ciclo.

En estos motores se hace necesario rebajar la relación de compresión con el fin de que no aumente en exceso la presión final de compresión, pero sí la presión media efectiva que actúa sobre el pistón, obteniéndose así una mayor curva de par para el motor y mayor potencia.



↑ **Figura 3.19.** Diagrama de trabajo de un motor Diesel sobrealimentado (azul) y atmosférico (rojo).



- 1 Turbo compresor
- 2 Válvula reguladora de presión
- 3 Intercambiador aire/aire
- A Turbina
- B Compresor

↑ **Figura 3.20.** Sobrealimentación por turbocompresor.

6.1. El turbocompresor

El sistema más utilizado de sobrealimentación en los motores Diesel de 4 tiempos para automoción es el turbocompresor (figura 3.20).

Este dispositivo aprovecha la velocidad de salida de los gases de escape para hacer girar una turbina (A), acoplada en el extremo de un eje, en el otro extremo, se monta el compresor centrífugo (B) que eleva la presión del aire en el conducto de admisión.

Para hacer girar el compresor se utiliza la energía residual de los gases de escape, por lo que no absorbe potencia del motor.

La presión obtenida varía con el régimen del motor, de tal forma que el turbo no empieza a soplar hasta superar un determinado número de revoluciones, sin embargo, con altos regímenes se hace necesario limitar la presión mediante una válvula reguladora (2).

La presión hace que aumente la temperatura del aire ocupando mayor volumen, en estas condiciones empeora el llenado. Este inconveniente se soluciona disponiendo un intercambiador de calor (3) que refrigera el aire después de su paso por el turbocompresor y antes de ser admitido en el cilindro.

6.2. Ventajas que se obtienen en los motores Diesel sobrealimentados

En los motores **Diesel lentos** de grandes cilindradas, la sobrealimentación mejora el proceso de intercambio de gases y proporciona aire en cantidad suficiente para quemar el gran volumen de combustible que se inyecta, sobre todo con cargas altas.

En los motores **Diesel rápidos**, con cilindradas más moderadas, interesa obtener una buena relación peso potencia. La sobrealimentación unida al alto régimen de giro que alcanzan, hace que estos motores obtengan muy buen rendimiento con un bajo consumo, por lo que son cada vez más empleados en turismos.

7. Tipos de motores Diesel de cuatro tiempos

Desde sus comienzos, el motor Diesel se ha empleado en vehículos pesados dadas sus características de funcionamiento duro y ruidoso pero con un bajo consumo. La adaptación de motores Diesel a turismos fue posible gracias al desarrollo de motores de funcionamiento más suave.

Primero se desarrollaron los motores de inyección indirecta que con el empleo de cámaras de combustión auxiliar se consigue atenuar el nivel de vibraciones, aunque esta técnica tiene el inconveniente de que aumenta el consumo de combustible.

Los actuales Diesel rápidos de inyección directa, además de suave funcionamiento y alto rendimiento, tienen un bajo consumo, esto justifica que estén sustituyendo a los de cámara auxiliar.

7.1. Diesel lento de inyección directa

Son motores de medianas y grandes cilindradas comprendidas entre 3.000 y 18.000 cm³, tienen volúmenes unitarios de hasta 2 litros por cilindro y giran entre 900 y 2.500 rpm.

El combustible es inyectado directamente en la cámara practicada sobre la cabeza del pistón. Se utilizan inyectores de varios orificios con presiones de inyección superiores a los 1.000 bares en los motores actuales. Tienen un funcionamiento duro y ruidoso debido principalmente a su retraso en el comienzo de la combustión, es decir, el tiempo que transcurre desde que el combustible empieza a ser inyectado hasta que comienza su inflamación.

En este tiempo se acumula cierta cantidad de combustible que después se inflama de forma violenta, lo que provoca una subida brusca de la presión dando lugar a vibraciones que se transmiten a la carrocería.

Estos motores tienen aplicación en vehículos de transporte: camiones y autobuses, en maquinaria de obras públicas y tractores o en motores estacionarios. Deben tener una duración 4 o 5 veces superior a los motores de turismos. Por el uso que se les da a estos motores su funcionamiento brusco no tiene importancia, sin embargo son apreciados por su reducido consumo de combustible.

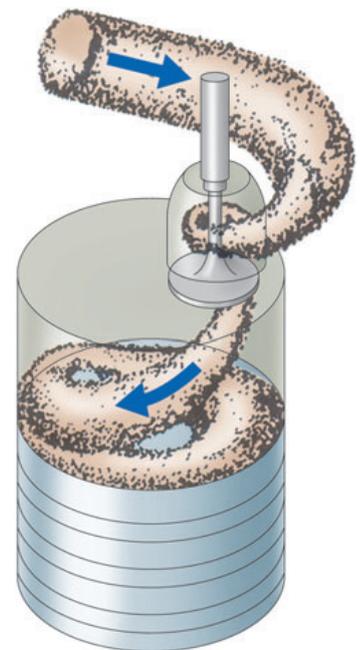
7.2. Diesel rápido de inyección directa

Son motores de pequeña y mediana cilindrada (hasta 3.500 cm³) con volúmenes unitarios de 0,4 a 0,6 litros. Pueden superar las 4.500 revoluciones y entregan su par máximo entre 1.800 y 2.500 revoluciones. El consumo de combustible se reduce considerablemente con respecto a los Diesel de inyección indirecta.

Su empleo en vehículos de turismo ha sido posible gracias a las mejoras en cuanto a sonoridad y suavidad de funcionamiento, para lo cual se ha adaptado el conducto de admisión, la cámara de combustión y el inyector.

El paso de aire por el conducto de admisión le imprime un movimiento espiral, de tal forma que la masa gaseosa entra en el cilindro ya con un fuerte movimiento giratorio (figura 3.21). Durante la compresión la cámara toroidal practicada en el pistón intensifica la turbulencia.

El inyector de 4 o 5 orificios inyecta en dos etapas, una preinyección a unos 250 bares y la inyección principal que puede superar los 1.000 bares de presión.



↑ **Figura 3.21.** Turbulencia en admisión.

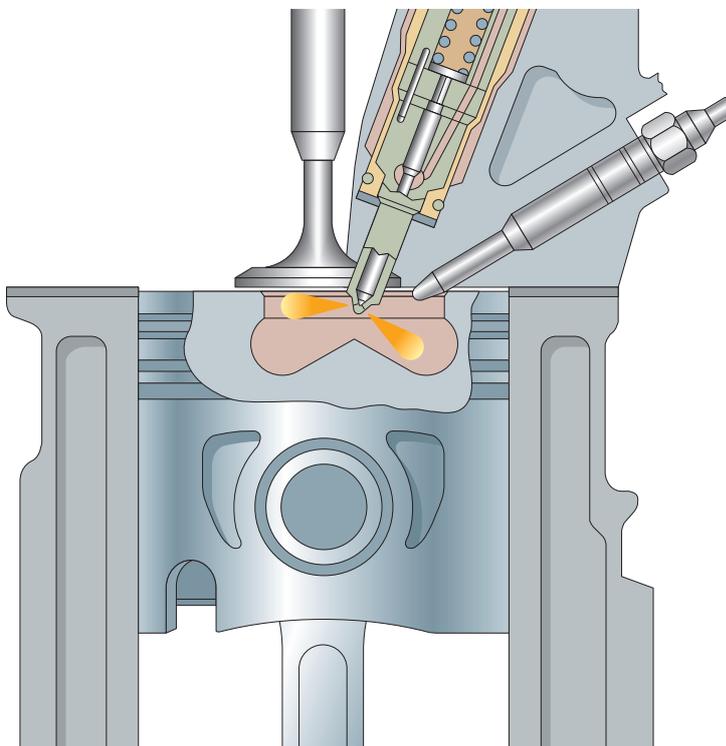
caso práctico inicial

El Diesel rápido de inyección directa turboalimentado es el tipo de motor que se usa actualmente en los vehículos de turismo.



La preinyección de una pequeña cantidad de combustible inicia la combustión de forma suave y crea las condiciones para la inflamación del resto de combustible inyectado en la segunda fase. La alta presión de inyección pulveriza finamente el combustible que penetra rápidamente en el aire comprimido, el resultado es una combustión progresiva sin aumentos bruscos de presión.

Se emplean en turismos, ya que se obtienen prestaciones similares a las que ofrecen los motores de gasolina con un consumo más reducido (figura 3.22). Generalmente son motores sobrealimentados, dotados de gestión electrónica del sistema de inyección y del turbocompresor.



↑ **Figura 3.22.** Diesel rápido de inyección directa.

7.3. Diesel rápido de inyección indirecta

El inyector se sitúa dentro de una cámara auxiliar donde se produce una gran turbulencia de aire en la compresión. La inyección inicia la combustión que se traslada a través de unos conductos, haciendo que se aplique sobre la cabeza del pistón de forma progresiva. Se utilizan inyectores de un solo orificio que inyectan a presiones de 100 a 140 bares.

El funcionamiento que se obtiene en este motor es suave y con un bajo nivel sonoro. Por contra, el consumo específico de combustible es mayor que en los de inyección directa y se precisan bujías de calentamiento para el arranque en frío. Se emplean en turismos y en vehículos industriales ligeros.

Los Diesel de inyección indirecta están siendo sustituidos por los Diesel rápidos de inyección directa debido a que ofrecen mayor rendimiento, menor consumo y son menos contaminantes.

8. Comparación entre motores Diesel y Otto

Ambos motores son muy similares en su constitución; las diferencias más significativas se encuentran en la forma en que se desarrolla el ciclo de funcionamiento.

En el ciclo Otto la combustión es muy rápida, en teoría a volumen constante. En el ciclo Diesel hay una primera fase de combustión rápida, casi a volumen constante, y después una combustión más progresiva, teóricamente a presión constante.

En los motores Otto se comprime una mezcla de aire y combustible, esto supone un límite en el grado de compresión para evitar el autoencendido. Los Diesel permiten relaciones de compresión más altas debido a que se comprime solo aire. Los límites en este caso son de tipo mecánico.

8.1. Diferencias de funcionamiento

Motor Diesel

- Admisión de la máxima cantidad de aire.
- Alto grado de compresión (de 14 a 22/1), alcanzando presiones de unos 40 bares.
- Elevada temperatura al final de la compresión (de 500 a 600 °C).
- Inyección de combustible en cantidad dosificada, a una presión entre 250 y 2.000 bares en los Diesel rápidos de inyección directa.
- Autoinflamación del combustible al ser inyectado.
- La combustión es relativamente lenta, entre 20° y 40° de giro de cigüeñal.
- Presión máxima de combustión entre 70 y 90 bares.

Motor Otto

- Preparación de la mezcla en determinada proporción.
- En la admisión se regula la cantidad de mezcla admitida.
- Grado de compresión relativamente bajo, para evitar la detonación (de 8 a 11/1), con presiones entre 13 y 15 bares.
- El encendido de la mezcla se logra mediante una chispa eléctrica.
- La combustión es rápida y se realiza a volumen casi constante.
- Presión máxima de combustión de 30 a 40 bares.

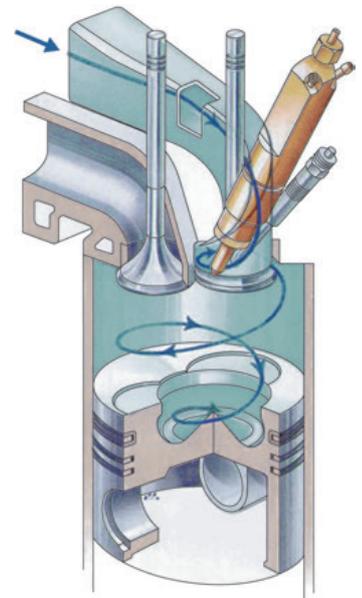
8.2. Ventajas e inconvenientes del motor Diesel respecto al motor Otto

Ventajas

- Mayor rendimiento térmico debido a que trabaja con temperaturas más elevadas.
- Menor consumo, puesto que se aprovecha mejor la energía del combustible.
- Menos contaminante, al ser la combustión más completa, los gases de escape son menos tóxicos.
- Mayor duración con menor coste de mantenimiento.

Inconvenientes

- Mayor peso, más ruidoso y de funcionamiento más brusco.
- Más caro, por la mejor calidad y ajustes que requiere su fabricación.
- Se adapta peor a los rápidos cambios de régimen que el motor Otto.
- El arranque en frío presenta más dificultades.



↑ **Figura 3.23.** Motor Diesel en admisión.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Cuáles son las principales características de funcionamiento del motor Diesel?
- 2. ¿Qué indica el índice de cetano del gasóleo?
- 3. Explica el ciclo de trabajo teórico del motor Diesel.
- 4. Explica el desarrollo del ciclo mixto teórico del motor Diesel.
- 5. ¿Qué diferencias existen entre los ciclos teórico y práctico?
- 6. ¿Qué valores de relación de compresión se usan en los motores de inyección directa?
- 7. ¿Por qué se produce el retraso del encendido?
- 8. Explica las tres fases de la combustión.
- 9. ¿Cómo se puede reducir el retraso del encendido?
- 10. La combustión en el motor Diesel, ¿tiende a realizarse a presión constante o a volumen constante?
- 11. ¿Por qué es mayor el rendimiento térmico en los motores Diesel?
- 12. ¿En qué consiste la sobrealimentación?
- 13. ¿Qué energía utiliza el turbocompresor para mover su turbina? ¿Qué ventajas tiene este sistema?
- 14. ¿Cuáles son las principales ventajas del motor Diesel respecto al motor Otto?
- 15. El cilindro de un motor Diesel tiene un diámetro de 98 mm y la carrera del pistón es de 106 mm. Si el volumen de la cámara de combustión es de 38 mm, ¿cuál es la relación de compresión y su rendimiento térmico?
- 16. Dibuja el diagrama real de trabajo de un motor Diesel señalando los siguientes puntos:
 - Comienzo de la inyección.
 - Final de la combustión.
 - Volumen de final de combustión.
 - Avance a la apertura del escape.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. En el motor Diesel una alta temperatura y una gran turbulencia del aire comprimido:

- a) Mejoran la formación de la mezcla.
- b) Permiten una combustión lenta.
- c) Generan riesgo de autoencendido.
- d) Empeoran el rendimiento.

2. La combustión isobárica se realiza:

- a) A temperatura constante.
- b) A presión constante.
- c) A volumen constante.
- d) Ninguna respuesta es correcta.

3. El llenado de aire del cilindro en un motor Diesel:

- a) Debe ser el máximo posible.
- b) Está regulado por la mariposa de gases.
- c) Está en función de la carga del motor.
- d) Depende de la proporción de la mezcla.

4. En un motor Diesel, cuando es inyectado el combustible:

- a) Se inflama al final de la inyección.
- b) Se inflama cuando salta la chispa.
- c) Se inflama con cierto retraso.
- d) Se inflama instantáneamente.

5. ¿Qué consecuencias puede tener el retraso del encendido?

- a) Combustión lenta y progresiva.
- b) Combustión incompleta.
- c) Acumulación de combustible seguido de una brusca subida de presión.
- d) El picado de biela.

6. En un motor Diesel, ¿qué factores intervienen principalmente en la transformación de la energía calorífica en trabajo?

- a) La relación de compresión.
- b) La presión y temperatura que se alcanzan en la combustión.
- c) La eficacia con que se desarrolla la combustión.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

7. ¿Qué temperatura se debe alcanzar en la compresión para inflamar el combustible inyectado?

- a) De 100 a 150 °C.
- b) De 250 a 300 °C.
- c) Superior a 500 °C.
- d) Superior a 1.000 °C.

8. ¿Por qué es necesario refrigerar el aire de admisión en los motores turboalimentados?

- a) Porque el aire caliente ocupa mayor volumen.
- b) Porque el aire caliente pesa más.
- c) Porque el aire fresco se mezcla mejor con el combustible.
- d) Para que adquiera mayor turbulencia.



PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Llave dinamométrica
- Cincho o ceñidor de segmentos

MATERIAL

- Motor Diesel

Desmontaje de un motor Diesel

OBJETIVO

Familiarizarse con el proceso de desmontaje de un motor Diesel.

DESARROLLO

1. Se desmonta el cárter de distribución y se gira el cigüeñal hasta hacer coincidir las marcas de distribución. Se desmonta el tensor y se extrae la correa de distribución.
2. Se desmonta la tapa de la culata y su junta.
3. Se aflojan los tornillos de fijación de la culata siguiendo el orden inverso al apriete previsto y se extraen los tornillos.
4. Se extrae la culata tirando hacia arriba y se retira la junta de culata.



↑ **Figura 3.24.** Correa de distribución.

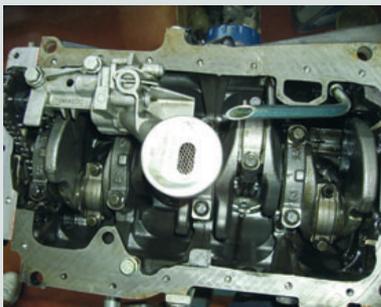


↑ **Figura 3.25.** Culata desmontada.



↑ **Figura 3.26.** Bloque de cilindros.

5. Se vacía el aceite, se desmonta el cárter inferior y se retira la bomba de aceite después de extraer sus tornillos de fijación.
6. Se anota la posición de montaje de pistones, bielas, tapas de bielas y tapas de bancada.
7. Se desmonta la tapa de biela del pistón número 1 y se extrae el conjunto biela- pistón empujando con el mango de un martillo. A continuación se desmonta el número 4 y luego el 2 y el 3.
8. Se desmonta el volante motor y se procede a aflojar los tornillos de fijación de los sombreretes de bancada, se extraen, se colocan ordenadamente y a continuación se desmonta el cigüeñal.
9. Se limpian y ordenan todos los elementos desmontados.



↑ **Figura 3.27.** Bomba de aceite en el cárter inferior.



↑ **Figura 3.28.** Extracción del pistón.



↑ **Figura 3.29.** Bancada del cigüeñal.

Identificación de los componentes de un motor Diesel

OBJETIVO

Conocer los componentes del motor Diesel y las diferencias con el motor Otto.

DESARROLLO

1. Se identifican todos los componentes del motor Diesel y se destacan las diferencias con el motor Otto.



↑ Figura 3.30. Elementos del sistema de inyección.



↑ Figura 3.31. Cabeza de biela partida por craqueo.



↑ Figura 3.32. Cámara de combustión en la cabeza del pistón.



↑ Figura 3.33. Refrigerador de aceite en el filtro.



↑ Figura 3.34. Surtidor de aceite para refrigeración del pistón.

2. Se monta el motor en sentido inverso al desmontaje manteniendo cada elemento en su lugar y posición. Apretar todos los tornillos al par prescrito. El apriete de la culata se realiza según orden y método recomendado en la documentación técnica.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Llave dinamométrica
- Cincho o ceñidor de segmentos

MATERIAL

- Motor Diesel



MUNDO TÉCNICO

Motores Diesel, evolución e historia

Por M. González (Cochesmas.com) el 21 feb 2009

Hoy en día los vehículos automóviles de turismo dotados de motor de tipo «Diesel» prácticamente barren en ventas a los alimentados por motores de gasolina (o de ciclo Otto). Pero no siempre ha sido así, este fenómeno es relativamente reciente, de hecho, en 1989 el porcentaje de vehículos movidos por este combustible apenas llegaba al 11% mientras en 2007 el 71% de los vehículos matriculados quemaban gasóleo.

A comienzos de los años 80 se produjo el «boom» de los motores Diesel en turismos con la aparición del motor de Peugeot denominado XUD-9, que en un primer momento equipó al Talbot Horizon, con una cilindrada de 1905 cc. y 65 CV. de potencia (motor que prácticamente ha llegado a nuestros días). Sin duda este fue el modelo que popularizó la motorización diesel e hizo que se considerara una alternativa válida en materia de prestaciones al motor de gasolina.

Estas mecánicas, llamémoslas de segunda generación, sirvieron también de base para la creación de **vehículos Diésel sobrealimentados**, desde el Mercedes 300 Turbodiésel al Volkswagen Golf GTD con su modesto 1.5 de 72 CV., pasando por el Alfa Romeo Alfetta 2000 TD o los indestructibles Peugeot 505 SRDTurbo y GTDTurbo. Modelos muy destacados de esta generación fueron también los dotados por las mecánicas XUD7T y XUD9T del grupo PSA. Fue la antesala a la «época gloriosa» de las mecánicas Diesel que actualmente vivimos.

Pero sin duda, la gran explosión la provocó la **aparición de las mecánicas de Inyección Directa** en las pequeñas cilindradas (en los vehículos industriales de gran cilindrada ya venía utilizándose bastantes años atrás), siendo primero Ford equipando a su Transit con un 2.5 (límite considerado máximo para un tetracilíndrico) y casi a continuación, ya sobre turismos, primero Fiat equipó a su Croma TD id con un 1.9, Austin utilizó un motor de origen Perkins para su Montego y el grupo VAG dotó al Audi 80 y al Volkswagen Golf con una mecánica también 1.9. Curiosamente los tres motores, de cilindrada muy similar, entregaban la misma potencia (90 CV). Los tres motores dotados de inyección mediante bomba rotativa muy similar a las empleadas en los tradicionales motores de inyección indirecta.

La **última revolución (de momento)** la marcó en 1998 la aparición del Alfa Romeo 156 dotado de motores JTD (unijet, con tecnología «**common-rail**») en configuraciones 1.9 tetracilíndrico y 105 CV. y 2.4 pentacilíndrico y 136 CV., turismo que estrenó esta tecnología desarrollada por el grupo Fiat y licenciada a los diferentes fabricantes a través del grupo Bosch, siendo Mercedes la siguiente marca que apostó por ella.

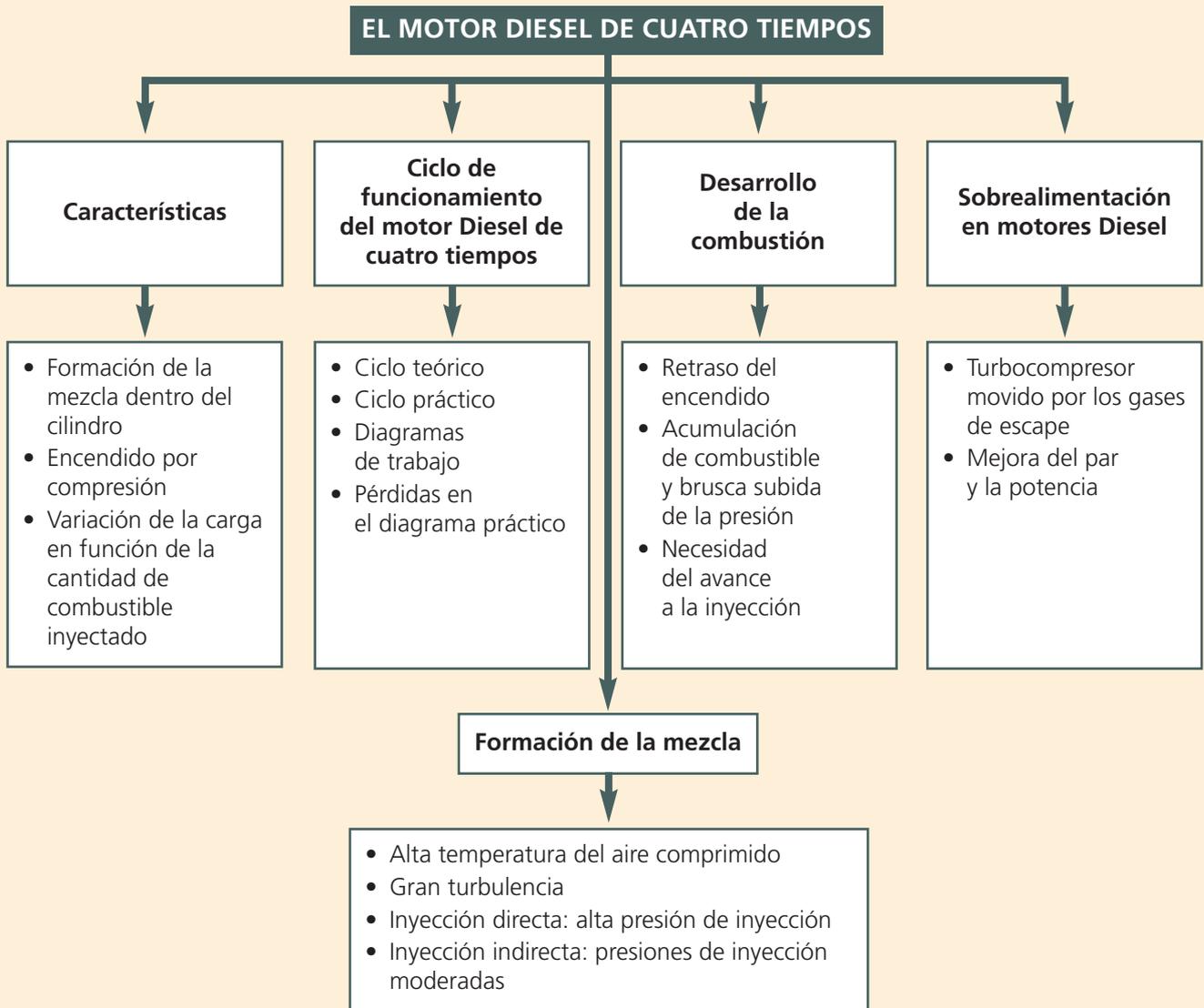
A continuación aparecieron múltiples motores utilizando esta tecnología, destacando los HDi de PSA (nótese que la generación de la inyección directa mediante bomba rotatoria no tuvo presencia por el destacado grupo francés), los TDCi de Ford y los DCi de Renault; así mismo han conseguido resultados francamente notables Honda (primero partiendo de un bloque de origen Isuzu y un cubicaje de 1.7 litros y a posteriori 2.2 i-CTDI) y los D-4D de Toyota.

El Grupo **VAG** se quedó solo en su apuesta por la **tecnología inyector-bomba** desarrollando bloques V6, V10 e incluso un V12 con tecnología TDI, pero la estrella de estas mecánicas sin duda ha sido el bloque original, el tetracilíndrico 1.9, que en su carrera hacia nuevas prestaciones consiguió llevarse a 150 CV. (de serie), existiendo un activo mercado de reprogramaciones (incluso proporcionadas por las propias marcas, principalmente Seat a través de Seat Sport) que generó la aparición de unidades que en muchos casos superaban ampliamente la barrera de los 200 CV. de potencia

¿Qué deparará el futuro de los propulsores Turbodiésel? Pues de momento la tecnología de los inyectores bomba (los modelos del grupo VAG) se están progresivamente rindiendo ante la evidencia de que el «**common-rail**» supone una alternativa más equilibrada (sobre todo para el cumplimiento de las normas anticontaminación y en cuanto a reducción de costes).

Por tanto, **la evolución de las tecnologías «common rail» parece imparable**, siendo una de las últimas mejoras la implementada en los motores tipo «multijet», en los cuales mediante sistemas múltiples inyecciones parciales en un solo ciclo de motor, en algunos casos hasta cinco, mejorándose espectacularmente el rendimiento y consiguiendo cumplir las normas anticontaminación cada vez más exigentes.

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.
 - http://www.uclm.es/profesorado/porrasyoriano/animaciones/motor_4_tiempos_diesel.html
 - <http://aaiiuc3m.wordpress.com/2008/11/12/funcionamiento-de-un-motor-diesel-de-cuatro-tiempos/>
 - <http://www.motorpasion.com/tecnologia/el-motor-diesel-mas-potente-del-mundo>
 - http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Motores_Diesel/Motores_Diesel.htm
 - http://www.arpem.com/tecnica/ind_direc/ind_direc_p.html
 - <http://www.camionesybuses.com/tecnica/inyeccion-directa-motor-diesel.htm>
 - http://ing.unne.edu.ar/pub/camaras_comb.pdf
 - http://www.wearcheckiberica.es/documentacion/doctecnica/ANALISIS_DE_LA_COMBUSTION.pdf
 - <http://members.fortunecity.es/100pies/>

4

Características de los motores

vamos a conocer...

1. Rendimiento del motor
2. Tipos de rendimiento
3. Características principales de los motores
4. Curvas características
5. Obtención de las curvas características

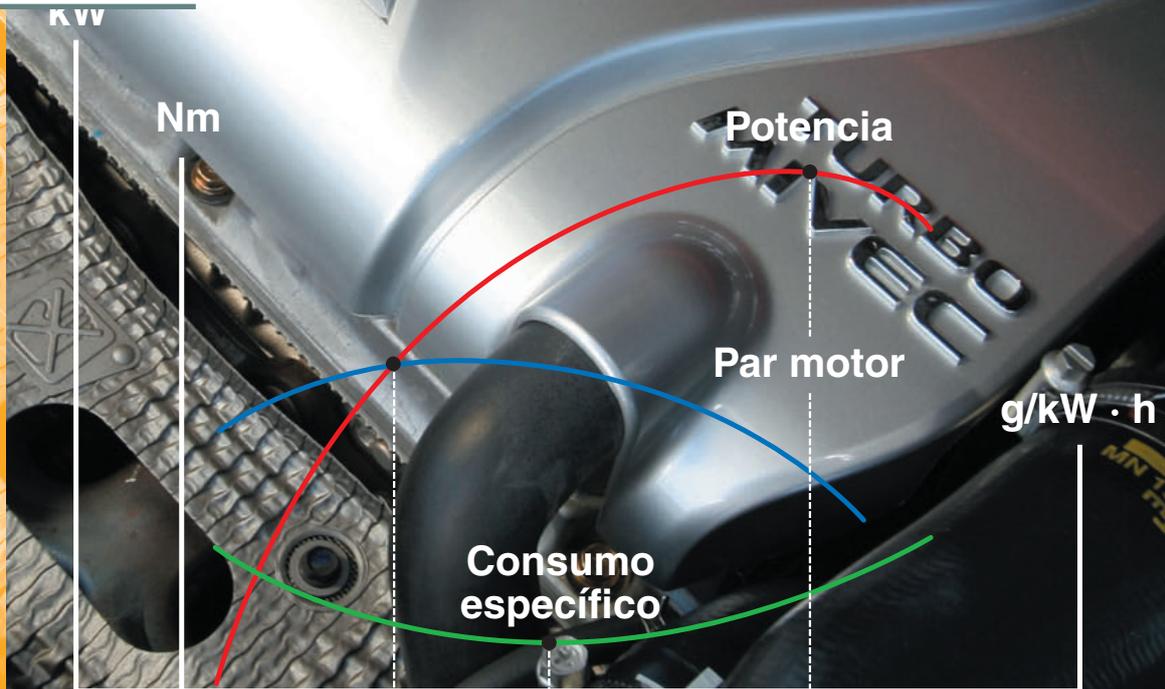
PRÁCTICA PROFESIONAL

Dibujar las curvas características de un motor

Cálculo de elasticidad

MUNDO TÉCNICO

Un completo chequeo. Mahle



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás los diferentes tipos de rendimientos y las pérdidas de energía que se producen en el motor.
- Analizarás las características principales del motor: par, potencia y consumo específico.
- Realizarás los cálculos necesarios para obtener las curvas características del motor.

CASO PRÁCTICO INICIAL

situación de partida

Un piloto de competición está preparando la temporada que va a comenzar, y tiene la necesidad de adquirir un vehículo para competir ya que es un piloto que le gusta participar en diferentes modalidades del automovilismo de competición (subidas de montaña, rallyes, circuitos).

Cuando estudia la oferta de vehículos de competición existentes en el mercado, observa que al margen de las preparaciones de suspensión, frenos, caja de cambios etc. ve diferentes características en los datos de los motores que la reglamentación de las diferentes competiciones deja usar en el vehículo (para que pase las verificaciones técnicas).

En las competiciones que el piloto desea participar, debido a que es una copa monomarca, solo está permitido usar uno de los dos motores en cada competición, con las características que a continuación se describen.

Tras montar una bomba de agua eléctrica, y algunas modificaciones añadidas en el sistema de refrigeración, se consiguen unas diferencias de un motor a otro (las características han sido obtenidas realizando los ensayos sobre un banco de potencia con freno hidráulico). El piloto tiene una gran indecisión pero tras la prueba de los diferentes motores y las consultas técnicas a su equipo de mecánicos, aprende a elegir el vehículo en función de la especialidad en la que participe.

Los datos que las verificaciones técnicas permiten son los siguientes:

MOTOR A

Cilindrada: 1.998 cm³

Potencia: 85 kW a 5.700 rpm

Par: 150 Nm a 3.200 rpm

MOTOR B

Cilindrada: 1.998 cm³

Potencia: 80 kW a 5.500 rpm

Par: 190 Nm a 3.400 rpm

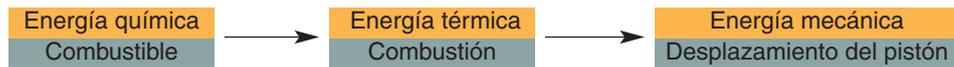
estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Sabrías decir qué motor es más apropiado en circuitos con curvas cerradas y subidas en cuesta?
2. ¿Qué motor crees que dará mejores resultados en un circuito de velocidad?
3. ¿Qué se entiende por rendimiento de un motor?
4. ¿Qué es el par motor?
5. ¿Cómo se define la potencia?
6. ¿Qué se entiende por consumo específico de combustible?
7. ¿Qué curvas representan las características de un motor?
8. ¿Cómo se obtienen las curvas características?

1. Rendimiento del motor

El motor de combustión interna es una máquina que transforma energía mediante el siguiente proceso:



La energía contenida en el combustible, de origen químico, se transforma en calor mediante la combustión. De este modo, el consiguiente aumento de presión provoca el desplazamiento del pistón, obteniéndose así energía mecánica.

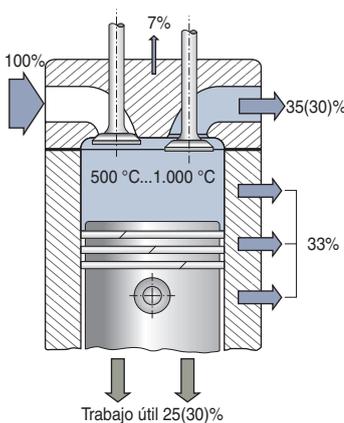
En este proceso no toda la energía del combustible es transformada en trabajo útil. Una buena parte se pierde, por lo que la energía aprovechable que se obtiene es menor a la inicial.

El balance resultante entre la cantidad de energía aportada y la obtenida en una máquina se denomina rendimiento (η) y se expresa como un porcentaje del trabajo que se aporta.

$$\eta = \frac{\text{energía obtenida}}{\text{energía aportada}} \cdot 100 (\%)$$

El rendimiento de un motor, por tanto, será mayor cuanto menores sean las pérdidas durante la transformación.

Pérdidas de energía



↑ **Figura 4.1.** Pérdidas de la energía en el motor.

- **Pérdidas de calor.** Producidas por el sistema de refrigeración y la radiación de calor al exterior. Otra pérdida es la importante cantidad de calor que se evacua a través de los gases de escape (figura 4.1).
- **Pérdidas mecánicas.** Debido al rozamiento entre las piezas en movimiento, y por el accionamiento de dispositivos auxiliares, como la bomba de agua, bomba de aceite, etc.
- **Pérdidas químicas.** Motivadas por una combustión incompleta.

PÉRDIDAS DE CALOR DURANTE EL CICLO

COMPRESIÓN	COMBUSTIÓN	EXPANSIÓN	ESCAPE
1 - 3%	6 - 8%	30 - 45%	50%

PÉRDIDAS MECÁNICAS POR ROZAMIENTO

CONJUNTO	MOVIMIENTO	VELOCIDAD	PRESIÓN
Pistón-cilindro	Alternativo	Alta	Moderada
Cigüeñal-biela y cigüeñal-bancada	Rotativo	Alta	Alta
Árbol de levas-empujadores	Rotativo	Baja	Muy alta
Válvulas	Alternativo	Moderada	Baja

2. Tipos de rendimiento

En un motor se pueden obtener diferentes tipos de rendimiento, los que estudiaremos a continuación son los siguientes:

- Rendimiento térmico.
- Rendimiento mecánico.
- Rendimiento efectivo.
- Rendimiento volumétrico.

2.1. Rendimiento térmico (η_c)

El rendimiento térmico será mayor cuanto más alta sea la temperatura alcanzada en la combustión y menores sean las pérdidas de calor.

La cantidad de calor obtenida está en función de la masa de combustible consumida por unidad de tiempo (m_t) y del poder calorífico de este (Q).

El rendimiento térmico (η_c) se puede definir como la relación entre la potencia efectiva (P) y la potencia térmica del combustible.

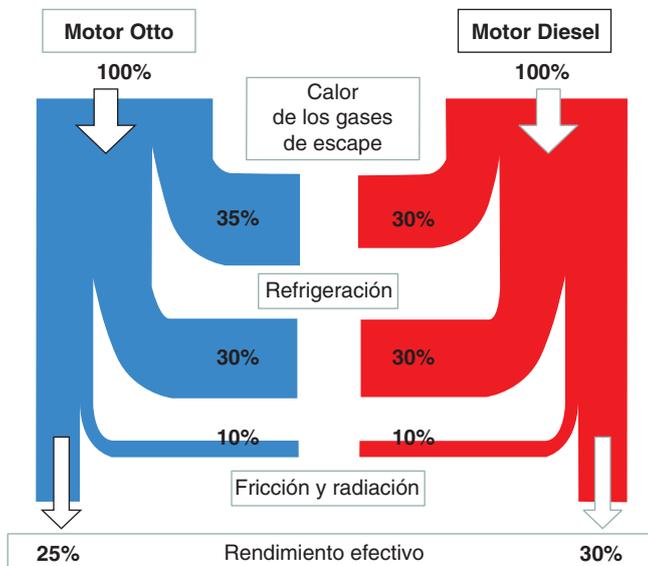
$$\eta_c = \frac{P}{m_t \cdot Q}$$

Las pérdidas de calor a través de los gases de escape suponen el 35% en los motores Otto, y el 30% en los Diesel.

Por el sistema de refrigeración se evacua aproximadamente el 30% del calor en ambos tipos de motor.

Del 100% de la energía calorífica que posee el combustible, los motores térmicos de combustión interna solamente son capaces de transformar entre el 35 y el 50%.

- Rendimiento térmico de los motores Otto: de 35 a 40%.
- Rendimiento térmico de los motores Diesel: de 40 a 50%.



caso práctico inicial

Las mejoras en el sistema de refrigeración aumentaron el rendimiento térmico.

← **Figura 4.2.** Pérdidas de energía en los motores Otto y Diesel.

2.2. Rendimiento mecánico (η_m)

Se puede expresar como la relación que existe entre la **potencia efectiva** (P), que se obtiene en el eje del motor, y la **potencia indicada** (P_i), que se obtiene en el diagrama de trabajo o diagrama indicado, el cual expresa el trabajo interno obtenido dentro del cilindro y en el que no intervienen las pérdidas mecánicas.

$$\eta_m = \frac{P}{P_i}$$

Las pérdidas de carácter mecánico que se consideran para determinar el rendimiento mecánico son:

- La energía empleada en transmitir el movimiento del pistón hasta el eje de salida, principalmente en rozamientos entre los segmentos y el cilindro y en los cojinetes de fricción de biela y cigüeñal.
- La parte de energía que consumen los dispositivos auxiliares, como el sistema de distribución, las bombas de agua y aceite, el distribuidor de encendido, etc., y el trabajo de bombeo o energía que se emplea en introducir y extraer los gases en el cilindro.

El conjunto de pérdidas mecánicas supone entre un 10 y un 15%.

2.3. Rendimiento efectivo (η_e)

El balance entre el total de pérdidas y el 100% de la energía contenida en el combustible consumido dan lugar al rendimiento efectivo del motor (figura 4.2).

	OTTO	DIESEL
Pérdidas térmicas	60% - 65%	50% - 60%
Pérdidas mecánicas	10% - 15%	10% - 15%
Total pérdidas	70% - 75%	60% - 70%
Rendimiento efectivo	25% - 30%	30% - 40%

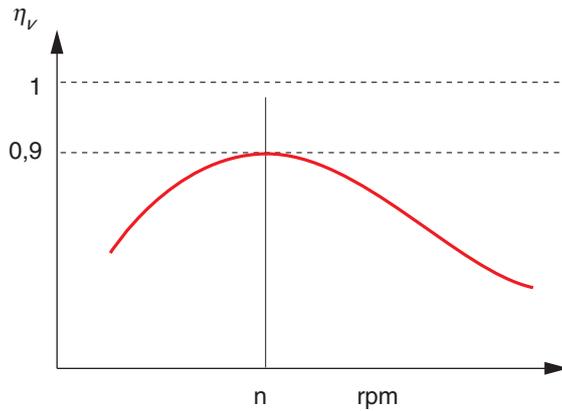
2.4. Rendimiento volumétrico (η_v)

Se puede definir como el grado de eficacia con que se logra llenar el cilindro. Se expresa como la relación entre la masa de gas que es introducida en el cilindro (M_a) en un ciclo y la masa que teóricamente cabe en el volumen del cilindro (M_c).

$$\eta_v = \frac{M_a}{M_c}$$

El grado de llenado de los cilindros influye directamente sobre el par y, por tanto, sobre la potencia desarrollada por el motor, ya que cuanto mejor sea el llenado, más energía se obtiene de la combustión.

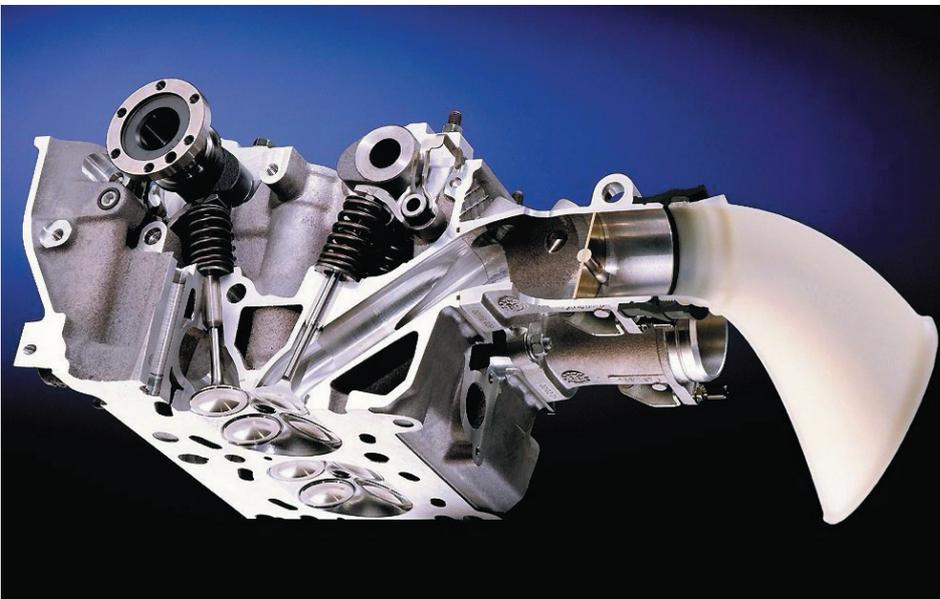
El rendimiento volumétrico es óptimo solo en un determinado régimen de revoluciones (figura 4.3). Para regímenes menores, la velocidad del gas es baja, y para los superiores, el tiempo disponible para la admisión disminuye a la vez que aumentan las pérdidas de carga debido al rozamiento de los gases.



↑ **Figura 4.3.** Rendimiento volumétrico en función del número de revoluciones.

La presión en el interior del cilindro al final de la carrera de admisión es siempre inferior a la presión atmosférica y está entre 0,8 y 0,9 bares. El rendimiento volumétrico máximo está entre el 70% y el 90% y depende de muy diversos factores:

- Régimen de giro.
- Las condiciones ambientales exteriores, que determinan la densidad del aire.
- El diagrama de distribución.
- La sección de las válvulas y los conductos de admisión.
- La eficacia de barrido de los gases quemados.



↑ **Figura 4.4.** Conducto de admisión en la culata.

3. Características principales de los motores

Las principales características que definen las prestaciones que se obtienen en un motor son el **par motor**, la **potencia** y el **consumo específico de combustible**. Estos parámetros identifican el tipo de motor proporcionando una referencia en cuanto a sus características de funcionamiento. El fabricante suministra estos datos obtenidos mediante ensayos en el banco de potencia.

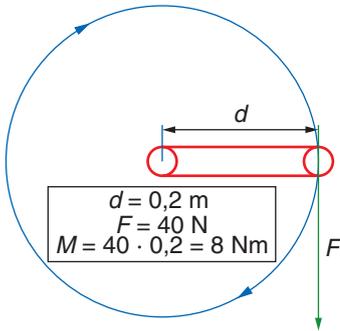
3.1. Par motor

Se denomina par de giro o momento de giro al efecto de rotación que se obtiene cuando se aplica una fuerza sobre un brazo de palanca.

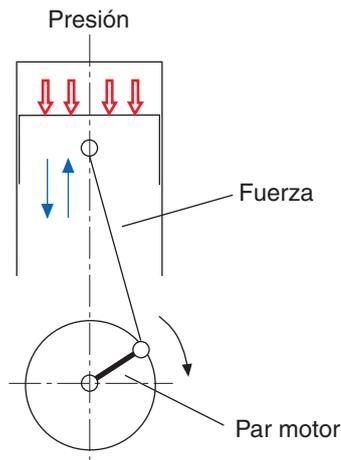
El valor del par es el producto de la fuerza aplicada por la distancia desde donde se aplica hasta el punto de giro (figura 4.5).

Multiplicando la presión obtenida en la combustión por la superficie de la cabeza del pistón se obtiene la fuerza que recibe la biela (figura 4.6).

El **par motor** está en función de la fuerza (F) aplicada sobre la biela, y de la longitud del codo del cigüeñal (d), siendo esta igual a la mitad de la carrera. La fuerza que se aplica sobre el codo del cigüeñal es proporcional a la presión media efectiva que actúa sobre el pistón.



↑ Figura 4.5. Par de giro.

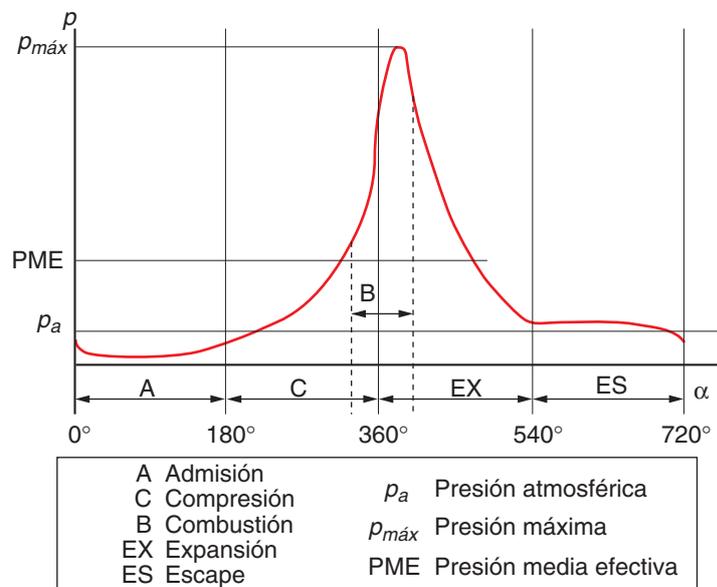


↑ Figura 4.6. Fuerza y par motor.

$$M = F \cdot d$$

M = par
 F = fuerza
 d = distancia

La **presión media efectiva** resulta de hallar la media de la presión existente dentro del cilindro durante el tiempo de combustión y expansión, de forma que podemos suponer que sobre el pistón actúa una presión media uniforme durante la carrera de expansión (figura 4.7).



→ Figura 4.7. Presión media efectiva.

El valor de la presión media obtenida en la combustión depende fundamentalmente de dos factores:

- Grado de llenado de los cilindros (rendimiento volumétrico).
- Eficacia con que se desarrolla la combustión.

El valor del par se obtiene de forma práctica mediante ensayos en el freno dinamométrico, consiguiéndose el par máximo en una gama media de revoluciones, ya que con altos regímenes de giro, empeora el llenado y aumentan las fricciones, disminuyendo el par.

El régimen al que se consigue llenar mejor los cilindros, y por tanto el máximo par, depende de características constructivas como la longitud y el diámetro de los conductos de admisión y los tiempos de apertura y el cruce de válvulas, que vienen determinados por el diagrama de distribución.

Por consiguiente, el máximo par coincidirá con el máximo rendimiento volumétrico.

3.2. Potencia

La potencia mecánica se define como la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo.

$$P = \frac{T}{t}$$

Para calcular la potencia de un motor conviene expresarla en función de la velocidad:

El trabajo es el producto de la fuerza por el espacio ($T = F \cdot e$).

$$P = \frac{T}{t} = \frac{F \cdot e}{t}$$

Y la velocidad es el resultado de dividir el espacio por el tiempo ($v = \frac{e}{t}$)

Consecuentemente, la potencia se puede obtener en función de la fuerza y la velocidad lineal.

$$P = \frac{F \cdot e}{t} = F \cdot v$$

$$P = F \cdot v$$

P = potencia	v = velocidad
T = trabajo	e = espacio
t = tiempo	F = fuerza

En un motor, la potencia es el resultado de multiplicar el par motor obtenido en el eje por la velocidad de rotación ($P = M \cdot \omega$).

El par motor se obtiene multiplicando la fuerza por la distancia ($M = F \cdot d$). La distancia (d) equivale a la medida del codo del cigüeñal y se denomina (r), ($d = r$). Luego:

$$F = \frac{M}{r}$$

La velocidad lineal expresada en m/s se obtiene con la ecuación:

$$v = \frac{\pi \cdot 2 \cdot r \cdot n}{60}$$

Obtendremos la potencia en vatios si expresamos el par en newton metro (N m):

$$P = F \cdot v = \frac{M \cdot \pi \cdot 2 \cdot r \cdot n}{r \cdot 60} = \frac{M \cdot 3,14 \cdot n}{30} = \frac{M \cdot n}{9,55} \text{ (W)}$$

$$P = \frac{M \cdot n}{9.550} \text{ (kW)}$$

P = potencia en kW (kilovatios)

M = par en Nm (newton metro)

n = rpm (revoluciones por minuto)

r = radio o longitud del codo del cigüeñal = 1/2 de la carrera

También se usa como unidad de potencia el caballo de vapor (CV) que pertenece al Sistema Técnico (figura 4.8). En este caso se usará como unidad de par el kilogramo por metro (kg · m)

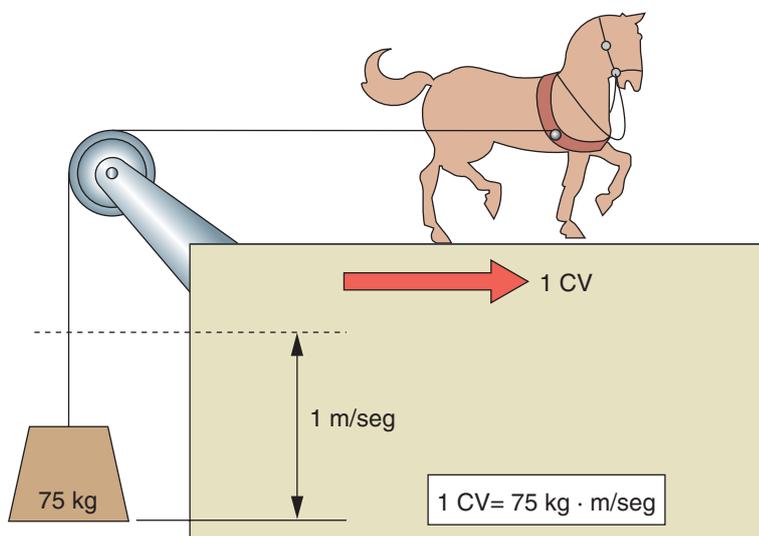
$$1 \text{ CV} = 75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$P = \frac{M \cdot 3,14 \cdot n}{30 \cdot 7,5} = \frac{M \cdot n}{716}$$

$$P = \frac{M \cdot n}{716} \text{ (CV)}$$

P = potencia en CV (caballos de vapor)

M = par en kg m (kilogramos metro)



→ **Figura 4.8.** El caballo de vapor como unidad de potencia.

Unidades de medida

Generalmente las medidas se expresan en unidades del Sistema Internacional (SI). Se utilizan también unidades del Sistema Técnico para indicar la potencia y el par motor. Actualmente es habitual encontrar estos datos expresados en ambos sistemas.

UNIDADES DE TRABAJO, POTENCIA Y PAR MOTOR		
	Sistema Internacional (SI)	Sistema Técnico (ST)
Trabajo	Unidad: Julio (J) 1J = 1N · 1 m	Unidad: kilográmetro (kgm) 1 kgm = 1 kgf · 1 m
Par	Unidad: Newton metro (Nm) 1daNm (decanewton–metro) = 9,8 Nm	Unidad: metro kilogramo (mkg)
Potencia	Unidad: Vatio (W) 1 W = 1 J/1 s 1 kW = 1 000 W	Unidad: caballo de vapor (CV o Hp) 1 CV = 75 kgm/s

Equivalencias: 1 CV = 0,736 kW 1 mkg = 9,8 Nm
 1 kW = 1,36 CV 1 daNm = 0,98 mkg

Factores que determinan la potencia de un motor

- **Cilindrada.** A medida que aumenta el volumen también lo hace la cantidad de combustible quemado en cada ciclo, siendo mayor la cantidad de calor que se transforma en trabajo mecánico.
- **Llenado de los cilindros.** Si se consigue que los cilindros admitan más cantidad de gas, la presión interna aumenta y también el par motor, consiguiendo mayor potencia. La carga de los cilindros se mejora con dispositivos de admisión variable y distribución variable, en otros casos se recurre a la sobrealimentación.
- **Relación de compresión.** A medida que aumenta, el rendimiento térmico mejora y por consiguiente también lo hace la potencia obtenida.
- **Régimen de giro.** La potencia crece progresivamente con la velocidad, es decir, con el número de ciclos que se realizan por minuto. Por tanto, el régimen es un dato inseparable de la potencia.

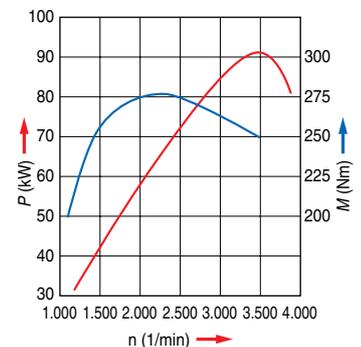
Potencia y régimen de giro

La potencia de un motor puede mejorarse utilizando diferentes procedimientos: aumentar la cilindrada, mejorar el rendimiento volumétrico o aumentar el número de revoluciones.

En los **motores Otto** el combustible se inyecta en la admisión, de manera que en el momento del encendido se encuentra bien mezclado con el aire y la combustión es rápida. Las presiones que soporta son relativamente bajas y sus componentes son ligeros, lo que permite alcanzar elevadas revoluciones (5.500 a 7.000 rpm, y hasta 12.000 en motores para motocicletas). Los límites vienen impuestos por las inercias de los órganos en movimiento, las vibraciones, el rozamiento y en general la resistencia de los materiales.

En los **motores Diesel** se requiere tiempo para formar la mezcla de aire y combustible dentro del cilindro y realizar la combustión ya que el combustible se inyecta al final de la compresión. Las presiones que se alcanzan son elevadas y los componentes son más pesados. Todo ello limita el régimen de giro en estos motores, por lo que habitualmente se recurre al aumento de cilindrada y a la sobrealimentación para incrementar la potencia.

Los **Diesel lentos** son motores de grandes cilindradas que giran a pocas revoluciones (entre 1.000 y 2.000 rpm), tienen un buen rendimiento y un bajo consumo. Se emplean en transporte pesado y en maquinaria industrial.



↑ **Figura 4.9.** Potencia y par en un motor Diesel.

Los **Diesel rápidos**, empleados en turismos, trabajan con menores presiones y sus componentes son más ligeros con el fin de alcanzar mayor número de revoluciones (entre 4.000 y 5.500 rpm). Se consigue aumentar la potencia manteniendo un peso razonable para un turismo.

Los modernos motores Diesel rápidos de inyección directa usan turbocompresores e inyectan el combustible a elevadas presiones, por lo que se obtienen rendimientos similares e incluso superiores a los motores Otto.

3.3. Consumo específico de combustible

El consumo específico se define como la relación que existe entre la masa de combustible consumida y la potencia entregada. Se obtiene mediante pruebas en el banco y se expresa en $\text{g/kW} \cdot \text{h}$ (gramos/kilovatio \cdot hora).

El consumo de combustible depende de muchos factores, pero principalmente del rendimiento térmico de la combustión y del rendimiento volumétrico:

- **Rendimiento térmico.** Aumenta con la relación de compresión, ya que se consiguen mayores temperaturas y, por tanto, mayores presiones. Por este motivo los Diesel consumen menos.
- **Rendimiento volumétrico.** Empeora a medida que aumenta el régimen, por lo que el consumo también se incrementa. El mínimo consumo se obtiene normalmente en el régimen de par máximo, ya que en este punto coinciden el máximo rendimiento volumétrico y la máxima presión media efectiva, y, consecuentemente, mínimo consumo.

Los valores medios de consumo específico son:

Motores Otto: 280 a 320 $\text{g/kW} \cdot \text{h}$

Motores Diesel: 180 a 280 $\text{g/kW} \cdot \text{h}$

3.4. Tipos de potencia

Potencia al freno o potencia efectiva

Se calcula a partir del par motor obtenido en el freno dinamométrico y es la que ofrece el fabricante en los datos técnicos del motor junto al número de revoluciones al que se obtiene.

Potencia específica

Relaciona la potencia efectiva máxima obtenida en el motor con su cilindrada (kW/L) o con su peso (kW/kg).

$$\text{Potencia por litro} = \frac{P}{V}$$

V = cilindrada en litros

$$\text{Potencia por kilogramo} = \frac{P}{m}$$

m = peso del motor en kilogramos

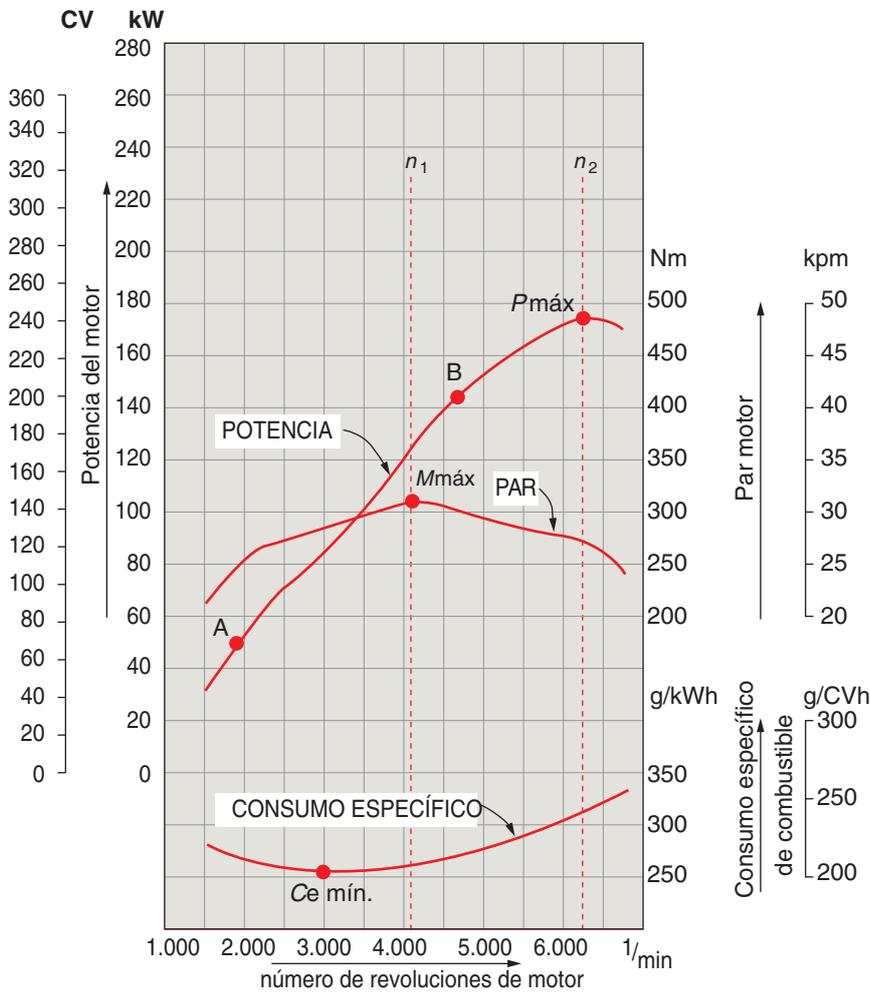
Los motores Otto tienen una potencia específica más alta que los Diesel, debido al mayor número de revoluciones, aunque los Diesel rápidos sobrealimentados están igualando a los Otto en este sentido.

Motores Otto	40 a 65 kW/L	0,6 a 1 kW/kg
Diesel rápidos sobrealimentados	20 a 45 kW/L	0,4 a 0,6 kW/kg
Diesel lentos	12 a 20 kW/L	0,2 a 0,4 kW/kg

4. Curvas características

Las curvas características del motor se confeccionan a partir de datos obtenidos mediante pruebas en el freno dinamométrico. Representan los valores que toman la potencia, el par motor y el consumo específico a medida que varía el número de revoluciones (figura 4.10). La prueba se realiza con motor a plena carga, el régimen decrece progresivamente al aumentar la resistencia del freno dinamométrico.

Los puntos más característicos de estas curvas son el régimen de máximo par (N_1) y el régimen de máxima potencia (N_2). En este tramo de revoluciones se obtiene el máximo rendimiento del motor.



$P_{m\acute{a}x}$. Potencia máxima	n_1 nº de revoluciones de máximo par
$M_{m\acute{a}x}$. Par motor máximo	n_2 nº de revoluciones de máxima potencia
$Ce_{m\acute{i}n}$. Consumo específico mínimo	

caso práctico inicial

Los datos de los motores que se utilizarán en la competición se pueden representar en una gráfica como esta para hacer una rápida comparación visual.

← Figura 4.10. Curvas características del motor.

4.1. Curva de potencia

Esta curva muestra los valores que va tomando la potencia en función del número de revoluciones. Se expresa en kW o en CV.

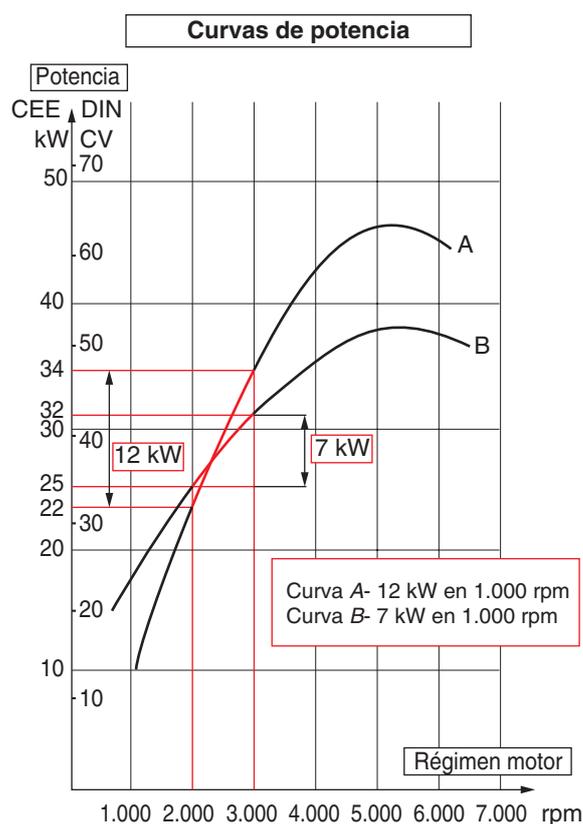
La potencia es el resultado de multiplicar el par motor por la velocidad de rotación, si ambos factores aumentan la potencia crecerá rápidamente (A-B figura 4.10).

A partir del punto B la pendiente es menos pronunciada, ya que el par motor desciende, a pesar de ello la potencia sigue creciendo debido a que al aumentar el régimen se obtiene mayor número de ciclos por minuto. Una vez alcanzada la potencia máxima ($P_{\text{máx}}$) comienza a caer puesto que con altos regímenes el llenado de los cilindros es muy deficiente y las pérdidas mecánicas superan a la potencia producida. El aumento de revoluciones a partir de este punto puede producir la rotura de las piezas.

El régimen máximo de un motor indica el límite al que se puede mantener funcionando sin riesgos de deterioro.

Interpretación de la curva de potencia

Si la curva presenta una **pendiente muy pronunciada** (A-figura 4.11) significa que para un pequeño aumento de revoluciones se produce un incremento importante de la potencia. Siempre que nos encontremos en un tramo de curva cercano a la máxima potencia, el motor subirá de revoluciones con facilidad. Pero si dejamos caer el régimen, le será muy difícil recuperarse desde bajas vueltas, precisamente por el incremento tan importante de potencia que tiene que superar. Habría que recurrir a la caja de cambios introduciendo una velocidad menor.



→ **Figura 4.11.** Comparación entre curvas de potencia.

Con este tipo de curva aguda se consigue una alta potencia específica (kW/L) pero el motor tiene poca elasticidad.

Cuando se trata de una curva con una **pendiente poco pronunciada** (B-figura 4.11) para conseguir un pequeño aumento de revoluciones debe generarse un aumento moderado de la potencia. Por tanto, le será fácil recuperarse desde bajas revoluciones, ya que el esfuerzo que tiene que compensar será menor que en el caso anterior.

Este tipo de curva más plana es característica de motores elásticos, aunque las cifras de potencia máxima son menores. Para incrementar la potencia se recurre al aumento de cilindrada.

En la figura 4.11 se observa que para un aumento de régimen de 1.000 rpm, la curva A incrementa 12 kW y la curva B solamente 7 kW, lo que confirma las razones anteriormente expuestas.

Las curvas A y B son representativas de dos tipos de motores muy diferentes. En la práctica se busca una solución intermedia con el fin de conseguir suficiente potencia específica, junto a una buena elasticidad que garantice una utilización cómoda.

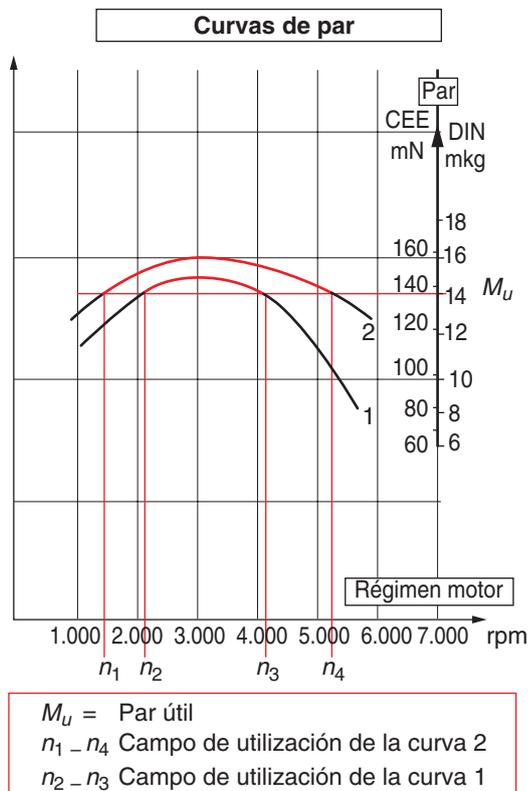
4.2. Curva de par motor

Representa la evolución del par en función del régimen del motor. Normalmente viene expresado en Nm y a veces en mkg.

La curva asciende a medida que aumenta el número de revoluciones hasta el par máximo ($M_{m\grave{a}x}$) (figura 4.10), este punto representa el máximo rendimiento volumétrico, es decir, el llenado óptimo de los cilindros y, por tanto, la presión media máxima. Al aumentar el régimen, el llenado de los cilindros empeora y el par descende, a pesar de que la potencia sigue aumentando. El régimen de máximo par depende de las características de los conductos de admisión y del diagrama de distribución.

Interpretación de la curva de par

La curva 1 (figura 4.12) es representativa de un motor poco elástico: el par sube hasta alcanzar su máximo valor, pero se mantiene dentro de la zona útil durante un tramo muy corto de revoluciones, lo que indica que habrá que usar el cambio de marchas con frecuencia.



← **Figura 4.12.** Comparación entre curvas de par.

La curva 2 (figura 4.12) pertenece a un motor más elástico, en el cual se alcanza un valor de par útil a bajas revoluciones y se mantiene durante un largo tramo. Esto implica buenas recuperaciones desde bajo régimen y una subida rápida de revoluciones en cualquier situación, aumentando así la potencia.

En la figura (4.12), M_u representa el par útil, por la parte inferior de esta línea el valor del par es demasiado bajo.

Puede apreciarse que la curva 1 tiene un campo de utilización muy pequeño, entre n_2 y n_3 . Sin embargo, la curva 2 tiene un amplio campo de utilización, entre n_1 y n_4 .

El motor Diesel desarrolla una curva de par parecida a la número 2, y el motor Otto se asemeja más a la número 1.

Entre el régimen de revoluciones que corresponde al par máximo (n_1 -figura 4.10) y el correspondiente a la máxima potencia (n_2) se encuentra el **campo de elasticidad**. Cuanto más grande sea esta distancia, más elástico será el motor.

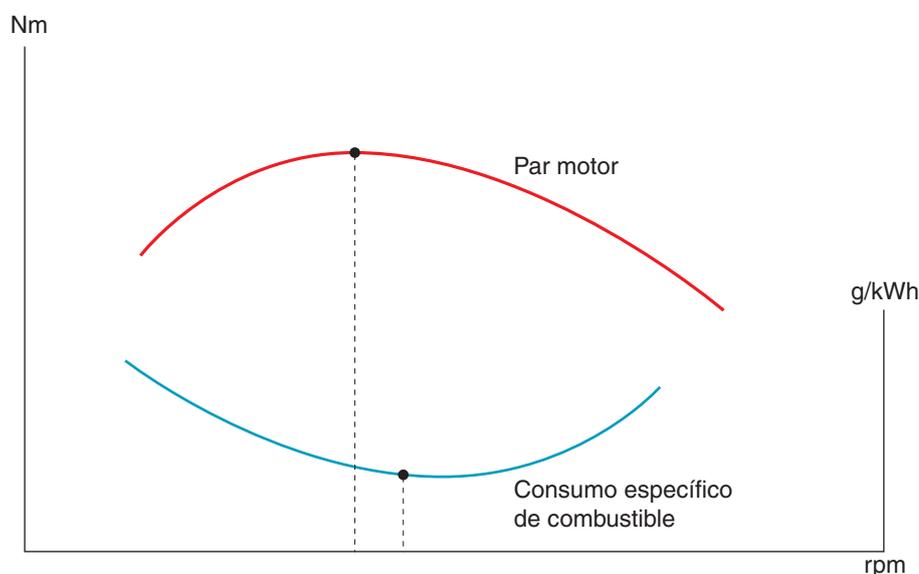
4.3. Curva de consumo específico

Representa el consumo de combustible respecto al número de revoluciones (figura 4.10). Se mide en $\text{g/kW} \cdot \text{h}$, es decir, la masa de combustible consumida en relación con la potencia entregada en la unidad de tiempo.

Esta curva guarda cierta simetría con la del par debido a que los valores máximos del rendimiento volumétrico coinciden con los mínimos de consumo.

El consumo específico de combustible en los motores de cuatro tiempos es mínimo en la zona media de revoluciones. Para regímenes inferiores o superiores el consumo es más elevado (figura 4.13).

El número de revoluciones correspondiente al par máximo es el punto de referencia a la hora de circular con un vehículo, ya que si se mantiene el régimen en las proximidades de este punto se consigue el mejor rendimiento con el mínimo consumo.



↑ **Figura 4.13.** Curvas de par motor y consumo específico.

5. Obtención de las curvas características

Solamente es posible obtener las prestaciones reales de un motor mediante pruebas en el banco de potencia o freno dinamométrico.

Los parámetros fundamentales que deben medirse en el banco son:

- **Par motor.**
- **Potencia.**
- **Consumo específico de combustible.**

Estos datos se toman para cada régimen de giro, manteniendo la mariposa de gases en su máxima apertura, por lo que se denomina **prueba a plena carga**. De esta forma se obtienen los datos necesarios para dibujar las curvas características del motor.

- El **par motor** se mide oponiendo una fuerza de frenado proporcional a la que suministra el eje del motor, así ambas fuerzas queden equilibradas para un determinado régimen de giro.
- La **potencia** se calcula a partir del par motor y del régimen de giro.
- El **consumo específico** se obtiene midiendo el tiempo que tardan en consumirse 100 cm³ de combustible.

Otros datos

Otros datos que también se tienen en cuenta son los relativos a la temperatura del agua, aceite y gases de escape del motor, con el fin de asegurarse de que las mediciones se realizan bajo unas condiciones de funcionamiento adecuado.

Las **condiciones ambientales** de la sala donde se realiza la prueba son especialmente importantes, ya que influyen en el rendimiento volumétrico y, por tanto, en la potencia desarrollada por el motor. Estos datos son: presión atmosférica y temperatura ambiente y, en ocasiones, la humedad relativa del aire.

Proceso de obtención de los datos

Existen varios tipos de bancos, que se diferencian en el sistema empleado para ejercer la fuerza de frenado. Los más utilizados son los frenos electromagnéticos y los hidráulicos (figura 4.14).

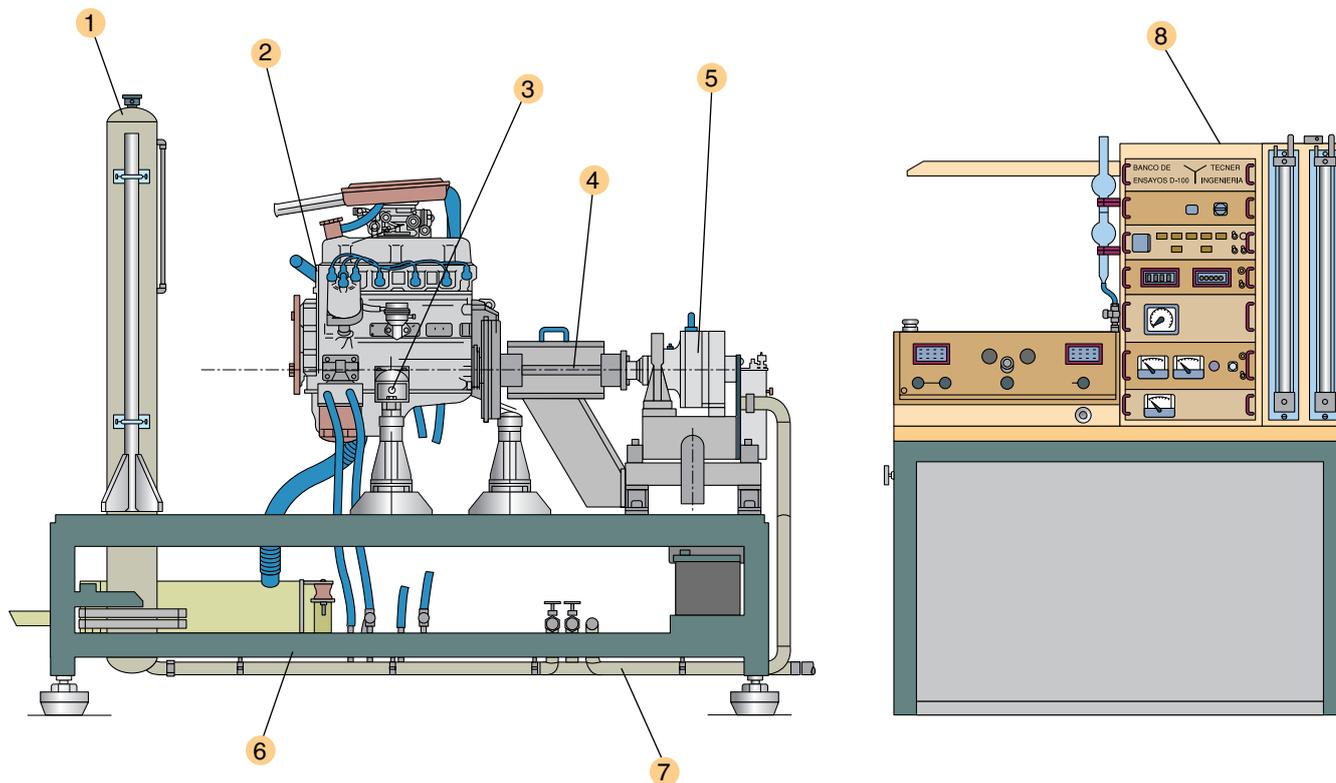
Para realizar la prueba se instala el motor en el banco y se le hace funcionar hasta alcanzar la temperatura normal de funcionamiento. La prueba se desarrolla a plena carga, es decir, con la mariposa de gases completamente abierta. En cambio, si se trata de un Diesel la prueba se efectuará con la bomba de inyección en posición de máximo suministro.

El ensayo se realiza de mayor a menor potencia: se empieza por el máximo régimen y se termina a ralentí, con el objeto de que la variación de temperatura afecte lo menos posible a los resultados.

Se comienza actuando sobre el mando de carga del motor (acelerador) y sobre el mando de freno del banco hasta conseguir la máxima carga del motor y el número de revoluciones correspondiente a máxima potencia, en estas condiciones se toman los datos. A partir de aquí se actúa solamente sobre el mando del freno y se tomarán datos para cada número de revoluciones hasta completar la prueba.

caso práctico inicial

El equipo de mecánicos pudo obtener los datos de los diferentes motores gracias al banco de potencia hidráulico.



- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1-Intercambiador de calor | 5-Freno dinámico hidráulico |
| 2-Motor | 6-Bancada general |
| 3-Soporte de motor | 7-Conducciones de agua |
| 4-Eje de transmisión | 8-Puesto de control y toma de datos |

↑ **Figura 4.14.** Instalación del motor sobre un freno dinámico de tipo hidráulico.

En la siguiente tabla aparecen los datos obtenidos en una prueba realizada a un motor Otto cuyas características de origen son:

$$\text{Cilindrada: } V = 1.100 \text{ cm}^3$$

$$\text{Potencia: } P = 40 \text{ kW a } 6.200 \text{ rpm}$$

$$\text{Par motor: } M = 80 \text{ Nm a } 3.000 \text{ rpm}$$

DATOS OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA

Régimen	Par motor	Consumo	Presión atmosférica	Temperat. ambiente	Temperat. aceite	Temperat. gas escape	Temperat. agua motor
$n = \text{rpm}$	$M = \text{Nm}$	$t = \text{seg}$	$p_a = \text{mmHg}$	$T_a = ^\circ\text{C}$	$T_{ac} = ^\circ\text{C}$	$T_{es} = ^\circ\text{C}$	$T_m = ^\circ\text{C}$
6.200	55	21,7	687	25	85	794	77
5.000	64	25,6	687	27	91	765	81
4.000	68	31,2	687	29	86	718	76
3.000	71	41	687	29	79	663	74
2.000	65	60	687	29	69	545	72
1.000	57	125,5	687	28	66	423	74

Cálculo de la potencia (P)

Con los valores de par y número de revoluciones obtenidos se aplica la conocida fórmula:

$$P = \frac{M \cdot n}{9.550} \text{ (kW)}$$

$$P = \frac{55 \cdot 6.200}{9.550} = 35,7 \text{ kW}$$

Cálculo del consumo específico de combustible (C_e)

En la prueba se mide el tiempo en segundos que tarda en consumirse 100 cm³ de combustible.

La masa de este combustible será: $m = 100 \cdot d$

La densidad de la gasolina empleada es: $d = 0,73 \text{ g/cm}^3$

El tiempo empleado expresado en horas será: $t \text{ (h)} = t \text{ (s)} / 3.600$

$$C_e = \frac{100 \cdot d}{P \cdot \frac{t}{3.600}}$$

$$C_e = \frac{3,6 \cdot 10^5 \cdot d}{P \cdot t} \text{ (g/kW} \cdot \text{h)}$$

Con los valores de tiempo y de potencia de la tabla se calculan los consumos para cada número de revoluciones:

$$C_e = \frac{3,6 \cdot 10^5 \cdot 0,73}{35,7 \cdot 21,7} = 339,2 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$$

Los cálculos de potencia y consumo específico se realizan para toda la gama de revoluciones, en este caso desde 6.200 hasta 1.000 rpm.

Los resultados de los cálculos efectuados se reflejan en la siguiente tabla:

CÁLCULOS OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA			
Régimen	Par motor	Potencia	Consumo
$n = \text{rpm}$	$M = \text{Nm}$	$P = \text{kW}$	$C_e = \text{g/kW} \cdot \text{h}$
6.200	55	21,7	339,2
5.000	64	33,5	306,4
4.000	68	28,5	295,5
3.000	71	22,3	287,4
2.000	65	13,6	322
1.000	57	6	349

Cálculo del factor de corrección (K_a)

Las prestaciones de un motor pueden variar en función de las condiciones ambientales del lugar donde se realiza la prueba. La presión atmosférica y la temperatura influyen en el rendimiento volumétrico y, por tanto, toda prueba ha de ser referenciada en unas mismas condiciones atmosféricas. De tal forma que se puedan comparar los datos de pruebas realizadas en diferentes lugares geográficos.

Las condiciones atmosféricas de referencia son:

$$T = 293 \text{ K (20 °C)}$$

$$p_a = 760 \text{ mmHg (milímetros de mercurio)}$$

Siempre que estas condiciones sean diferentes a las de referencia será necesario calcular el factor de corrección mediante la siguiente expresión.

$$K_a = \frac{760}{p_a} \cdot \left(\frac{T_a \text{ (K)}}{293} \right)^{0,5}$$

Aplicando los valores obtenidos durante la prueba:

$$\text{Presión atmosférica } p_a = 687 \text{ mmHg}$$

$$\text{Temperatura ambiente media } T_a = 28 \text{ °C}; \quad 273 + 28 = 301 \text{ K (grados Kelvin)}$$

$$K_a = \frac{760}{687} \cdot \left(\frac{301}{293} \right)^{0,5} = \frac{760}{687} \cdot \sqrt{\frac{301}{293}} = 1,12 \quad \boxed{K_a = 1,12}$$

Los valores corregidos de par, potencia y consumo específico en las condiciones estándar se determinan por las siguientes expresiones:

$$\text{Par} = M \cdot K_a \quad \text{Potencia} = P \cdot K_a \quad \text{Consumo específico} = C_e / K_a$$

TABLA DE VALORES CORREGIDOS			
n	$M \cdot K_a$	$P \cdot K_a$	C_e / K_a
6.200	61,6	40	302,8
5.000	71,7	37,5	273,5
4.000	76,1	31,9	263,8
3.000	79,5	25	256,6
2.000	72,8	15,2	287,5
1.000	63,8	6,7	311,6

Coefficiente de elasticidad (E)

La elasticidad de un motor se puede definir como la capacidad de respuesta ante los cambios de carga.

La elasticidad es mayor cuando el régimen de par máximo es bajo, lo que indica que la capacidad de recuperación es buena desde bajas revoluciones. Así, un motor elástico se recuperará con facilidad de una caída de revoluciones sin tener que cambiar de velocidad, ya que al disminuir el régimen aumenta el par.

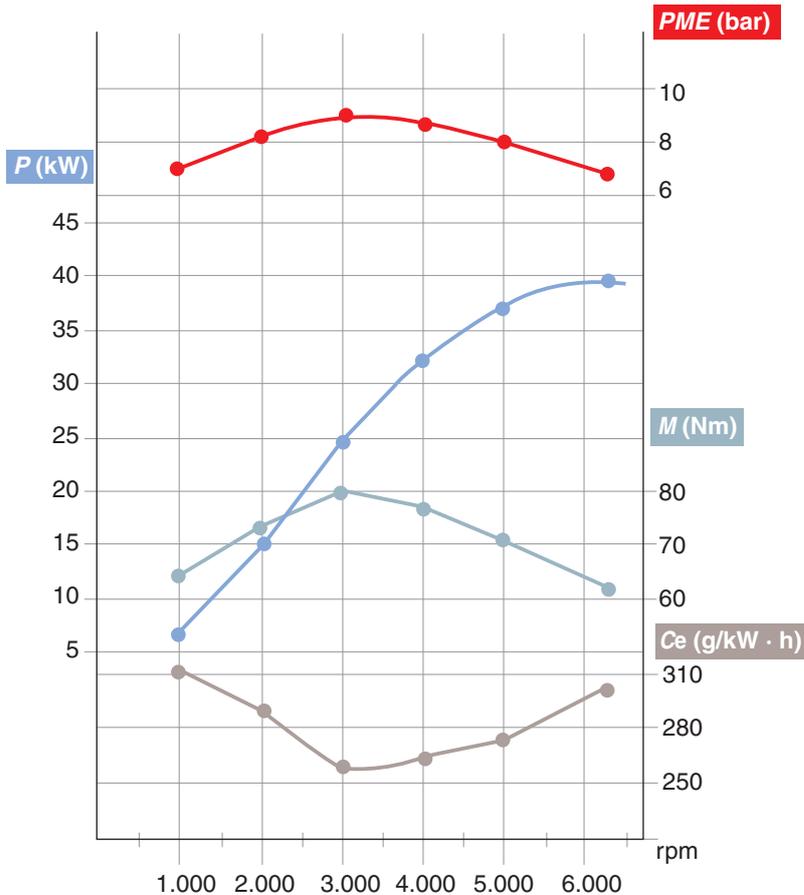
El coeficiente de elasticidad relaciona el par máximo, la potencia máxima y el régimen de giro al que se obtienen.

La elasticidad de par (E_p) es el cociente entre el par máximo y el par a la potencia máxima:

$$E_p = \frac{M_{máx}}{M_{P_{máx}}}$$

La elasticidad de régimen (E_n) es el cociente entre el régimen de potencia máxima y el régimen de par máximo:

$$E_n = \frac{n_{P_{m\acute{a}x}}}{n_{M_{m\acute{a}x}}}$$



↑ **Figura 4.15.** Curvas de par, potencia, consumo específico y presión media efectiva, obtenidas a partir de los valores corregidos.

El coeficiente de elasticidad (E) resulta del producto de ambas elasticidades:

$$E = E_p \cdot E_n$$

Los valores medios de elasticidad están entre 1,5 y 4. Se consideran motores poco elásticos cuando dan valores entre 1,5 y 2, y motores muy elásticos para valores de 3 a 4.

• **Cálculo del coeficiente de elasticidad:**

Según los datos obtenidos en la prueba:

$$M_{m\acute{a}x} = 79,5 \text{ Nm}$$

$$M_{P_{m\acute{a}x}} = 61,6 \text{ Nm}$$

$$n_{P_{m\acute{a}x}} = 6.200 \text{ rpm}$$

$$n_{M_{m\acute{a}x}} = 3.000 \text{ rpm}$$

$$E = \frac{M_{m\acute{a}x}}{M_{P_{m\acute{a}x}}} \cdot \frac{n_{P_{m\acute{a}x}}}{n_{M_{m\acute{a}x}}} = \frac{79,5}{61,6} \cdot \frac{6.200}{3.000} = 1,29 \cdot 2,06 = 2,66$$

Presi3n media efectiva PME

Este parámetro mide el grado de aprovechamiento de la cilindrada para obtener trabajo 3til.

La PME se expresa en bar y se calcula mediante la siguiente expresi3n:

$$PME = \frac{1,2 \cdot 10^6 \cdot P}{V \cdot n}$$

P = potencia en kW

V = cilindrada en cm^3

n = n° de revoluciones por minuto

El motor utilizado en el ensayo tiene una cilindrada de 1.100 cm^3

$$PME = \frac{1,2 \cdot 10^6 \cdot 40}{1.100 \cdot 6.200} = 7 \text{ bar}$$

POTENCIA Y PRESI3N MEDIA EFECTIVA						
rpm	6.200	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000
P (kW)	40	37,5	31,9	25	15,2	6,7
PME (bar)	7	8,2	8,7	9,1	8,3	7,3

Rendimiento efectivo (η_e)

Si comparamos la energ3a obtenida en el eje del motor (energ3a mecánica) con la aportada por el combustible que consume (energ3a qu3mica) obtendremos el rendimiento efectivo del motor.

$$\eta_e = \frac{\text{energ3a obtenida}}{\text{energ3a aportada}}$$

Expresado en t3rminos de potencia ser3a:

$$\eta_e = \frac{P_{\text{de salida}}}{P_{\text{de entrada}}}; \quad \eta_e = \frac{P_s}{P_e}$$

Ya disponemos de la potencia de salida. La potencia de entrada se puede calcular multiplicando el consumo en g/h por la energ3a calor3fica del combustible (Q).

$$\eta_e = \frac{P_s}{\frac{g}{h} \cdot Q} = \frac{P_s \cdot h}{g} \cdot \frac{1}{Q}$$

La expresi3n obtenida es la inversa del consumo espec3fico multiplicado por la inversa del poder calor3fico.

$$\frac{P_s \cdot h}{g} = \frac{1}{C_e}; \quad \eta_e = \frac{1}{C_e} \cdot \frac{1}{Q}$$

La energía calorífica del combustible empleado es:

$$Q = 44.000 \text{ kJ/kg}$$

$$1 \text{ kW} \times h = 3.600 \text{ kJ}$$

$$\frac{3.600 \cdot 1.000}{44.000} = 81,8$$

$$\eta_e = \frac{81,8}{C_e}$$

- **Cálculo del rendimiento efectivo**

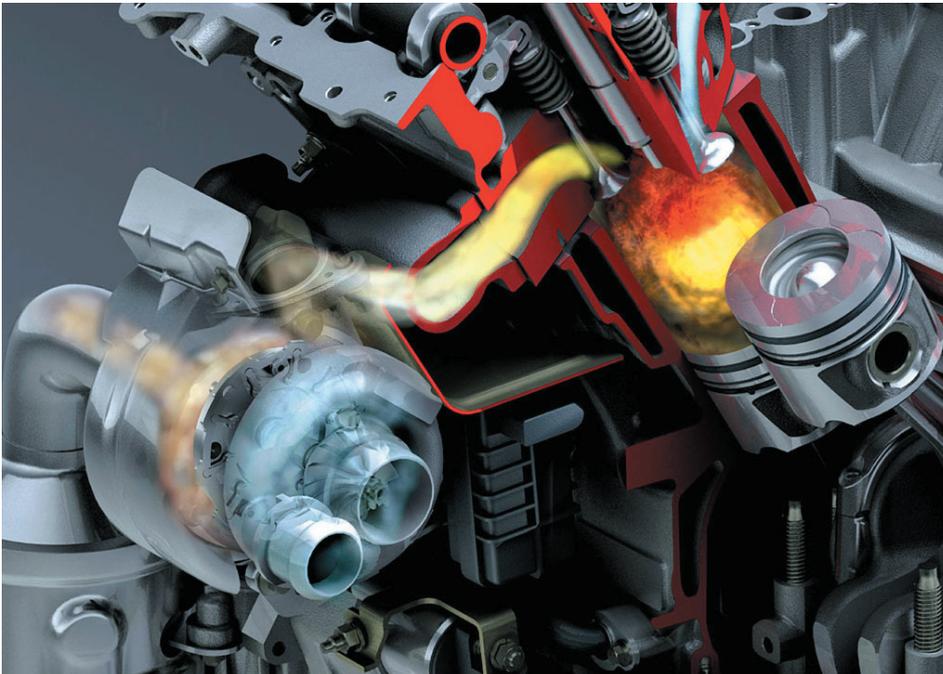
Con los datos del ensayo calculamos el rendimiento para la máxima potencia:

$$\eta_e = \frac{81,8}{302,8} = 0,27; \quad 27\%$$

El rendimiento para el par máximo sería:

$$\eta_e = \frac{81,8}{256,6} = 0,31; \quad 31\%$$

La continua evolución en el diseño de los motores, con la incorporación de distribución multiválvulas, colectores de admisión variables, sistemas de distribución variable, sobrealimentación y sobre todo la gestión electrónica de diferentes funciones del motor ha permitido mejorar su rendimiento efectivo, consiguiendo elevados valores de potencia y par con cilindradas moderadas, lo que supone una mejora del índice de elasticidad. Así mismo, se reduce el consumo específico de combustible y el nivel contaminante de los gases de escape.



↑ **Figura 4.16.** Turbocompresor en un Diesel de inyección directa.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Qué tipo de pérdidas de energía se producen en el motor?
- 2. ¿Qué es el rendimiento mecánico?
- 3. ¿Qué es el rendimiento volumétrico?
- 4. ¿De qué factores depende el rendimiento volumétrico?
- 5. ¿Qué cifras de rendimiento global suelen tener los motores Otto y Diesel?
- 6. ¿Qué es la presión media efectiva?
- 7. ¿Qué relación existe entre el par máximo y el rendimiento volumétrico máximo?
- 8. ¿Cuál es la definición de potencia mecánica?
- 9. Escribe las expresiones para determinar la potencia en kW y en CV.
- 10. ¿Cuál es la equivalencia entre kW y CV? ¿Y entre Nm y mkg?
- 11. ¿De qué factores depende la potencia de un motor?
- 12. ¿Por qué los motores Otto alcanzan mayor número de revoluciones que los Diesel?
- 13. ¿Qué es la potencia específica?
- 14. ¿Cómo se define el consumo específico de combustible y en qué unidad se mide?
- 15. Una curva de potencia con una pendiente muy pronunciada, ¿qué tipo de motor representa?
- 16. ¿Cómo es la curva de par de un motor muy elástico?
- 17. Los valores mínimos de consumo específico coinciden con los máximos de par. ¿Por qué?
- 18. ¿Qué diferencias existen entre las curvas de par de los motores Otto y Diesel?
- 19. ¿Por qué son importantes las condiciones ambientales del lugar donde se realiza el ensayo?
- 20. ¿Por qué se denomina prueba a plena carga?
- 21. Un motor de 1.600 cm^3 desarrolla un par motor de 120 Nm a 5.800 rpm .
Calcula la potencia efectiva para ese mismo régimen de revoluciones en kW y en CV.
- 22. Calcula la potencia específica en kW/L en el motor del ejercicio anterior.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

- 1. ¿Cómo se denomina al balance resultante entre la cantidad de energía aportada y la obtenida en una máquina?**
 - a) Potencia específica.
 - b) Presión media efectiva.
 - c) Par motor.
 - d) Rendimiento.
- 2. ¿Qué tipo de pérdidas de energía se producen en el motor?**
 - a) Pérdidas de calor.
 - b) Pérdidas mecánicas.
 - c) Pérdidas químicas.
 - d) Todas las respuestas son correctas.
- 3. ¿Qué tipo de rendimiento es el que resulta de comparar el total de pérdidas con el 100% de la energía contenida en el combustible consumido?**
 - a) Rendimiento térmico.
 - b) Rendimiento mecánico.
 - c) Rendimiento efectivo.
 - d) Rendimiento volumétrico.
- 4. ¿Que parámetro es el que se determina en función de la fuerza aplicada sobre el pistón y la longitud del codo del cigüeñal?**
 - a) La potencia efectiva.
 - b) La potencia del freno.
 - c) El par motor.
 - d) Todas las respuestas anteriores son correctas.
- 5. ¿Qué dato se expresa siempre junto con el par y la potencia de un motor?**
 - a) La relación de compresión.
 - b) El régimen de giro.
 - c) La presión media efectiva.
 - d) El rendimiento térmico.
- 6. ¿En qué unidad del sistema internacional se expresa la potencia del motor?**
 - a) CV.
 - b) HP.
 - c) Nm.
 - d) kW.
- 7. ¿Cómo se obtiene en el banco el consumo específico de combustible?**
 - a) A partir de la potencia y del régimen de giro.
 - b) Se mide el consumo a los 100 km.
 - c) Se mide el tiempo que tarda en consumirse 100 cm³ de combustible.
 - d) Se mide cuántos cm³ de combustible consume en una hora.
- 8. ¿Qué dato es imprescindible para adaptar los valores obtenidos en el banco a las condiciones atmosféricas de referencia?**
 - a) El coeficiente de elasticidad.
 - b) La temperatura del motor.
 - c) El par motor.
 - d) El factor de corrección.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Banco de potencia

MATERIAL

- Motor

Dibujar las curvas características de un motor

OBJETIVO

Realizar los cálculos a partir de los datos obtenidos en el banco de potencia.

DESARROLLO

1. Se realiza una prueba en el banco de potencia a un motor cuyas características de origen son:

Cilindrada: $V = 1.994 \text{ cm}^3$

Potencia $P = 120 \text{ kW}$ a 6.000 rpm

Par motor $M = 225 \text{ N m}$ a 4.200 rpm

Los datos obtenidos en la prueba son los siguientes:

Régimen	Par motor	Consumo 100 cm ³	Temperatura aceite
$n \text{ (rpm)}$	$M \text{ (N m)}$	$t \text{ (s)}$	$T_{ac} \text{ (}^\circ\text{C)}$
6.000	176	7,5	108
5.000	190	9,3	102
4.000	200	12,8	96
3.000	184	18,1	90
2.000	163	28,9	88
1.000	100	92,5	85

2. Calcula para cada régimen de revoluciones:

- Potencia (P)
- Consumo específico de combustible (C_e)
- Factor de corrección (K_a) y valores corregidos de potencia, par y consumo específico
- Coeficiente de elasticidad (E)
- Presión media efectiva (PME)

3. Dibuja las curvas de potencia, par, consumo específico y presión media efectiva sobre papel milimetrado

Cálculo de elasticidad

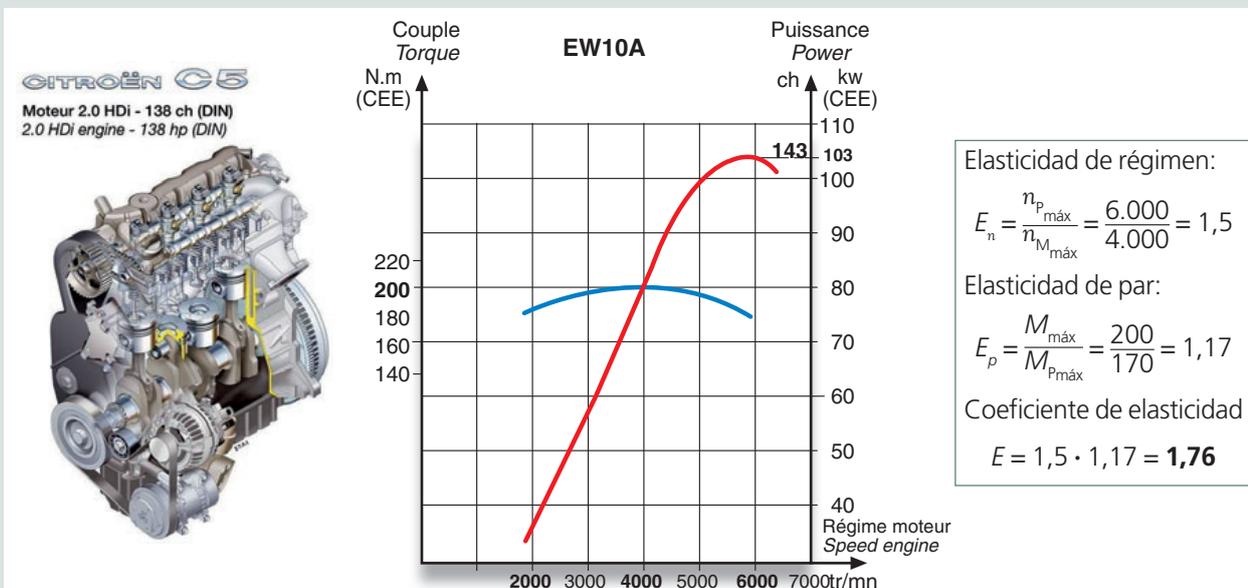
OBJETIVO

Comparar la elasticidad de dos motores de igual cilindrada uno Diesel y otro de gasolina.

DESARROLLO

MATERIAL

- Documentación técnica de los motores
- Curvas de par y potencia



El motor Diesel 2.0 HDi 138 kW es más elástico (2,9) que el motor de gasolina 2.0 i 143 kW (1,76).

MUNDO TÉCNICO

Un completo chequeo. MAHLE

Adicionalmente a los cálculos, simulaciones y ensayos de componentes fuera del motor, el ensayo con el motor en marcha es la fuente de información más importante para cualquier diseñador de componentes de motor. MAHLE opera un total de 78 bancos de ensayo de motores y 8 bancos de rodaje en sus siete centros de investigación de todo el mundo.

El ensayo del motor: la clave para el intercambio de información

El ensayo de motor desempeña un papel fundamental en MAHLE. Además del desarrollo de productos para fabricantes de motores y vehículos de todo el mundo hasta su producción en serie, los desarrollos relativos al motor a partir de productos innovadores propios son de vital importancia. Por esta razón, el intercambio de datos y experiencia con otras áreas como diseño, cálculo y ensayos fuera del motor es un aspecto esencial de nuestro trabajo diario. La estrecha colaboración entre los departamentos de producto y el departamento de ensayos de motores es la base de la experiencia global de MAHLE y hace de la compañía un valioso colaborador en el desarrollo de complejos sistemas de motores de los fabricantes de motores y vehículos.

Bancos de ensayos para todos los casos

El Departamento de Ensayo de Motores de nuestra casa matriz en Stuttgart (Alemania) dispone de 32 bancos de ensayos pudiéndose realizar todos los ensayos necesarios a muchos tipos diferentes de motores. 16 bancos están dedicados a turismos (Diesel y de gasolina) y 9 para motores de vehículos industriales (incluidos motores marinos y estacionarios como, p. Ej., alternadores), 3 para pequeños motores, 1 para cálculos de pérdidas por fricción, 1 cámara de frío y 1 cámara anecoica para pruebas acústicas. Gracias a la flexibilidad y la individualidad de la estructura de los bancos de ensayos MAHLE está en condiciones de ofrecer importantes ventajas a sus clientes.

Los fabricantes de motores no cuentan, ni de cerca, con una capacidad tan amplia para realizar ensayos de motores.

24 horas de operación ininterrumpida

Para hacer funcionar un motor en el banco de ensayos bajo carga es necesario frenar la potencia entregada por el mismo. Para ello se utilizan 3 tipos de sistemas de frenado con diferente capacidad: frenos de corriente inducida con una potencia de frenado máxima entre 160 kW. y 250 kW. para motores de coches. Frenos de corriente inducida de agua con una potencia de frenado máxima entre 400 kW. y 1200 kW. para motores de coches grandes y vehículos industriales. Además se utilizan los así llamados dinamómetros, en su mayoría motores asíncronos, que no solo permiten frenar el motor sino también pueden accionar el mismo en caso de ensayos en vacío. Su

potencia máxima de frenado o de arrastre es de entre 200 y 700 kW. Los bancos de ensayos pueden trabajar de manera completamente automática si es preciso y si se instalan los equipos de medida adecuados pueden funcionar durante las 24 horas del día sin vigilancia de un operador.

Responsabilidad sobre el desarrollo propio

Para alcanzar intencionadamente determinadas condiciones de servicio críticas de los motores, y así poder hacer una evaluación cualitativa y cuantitativa de los problemas que puedan surgir en las mismas, es esencial seguir estrictamente los procedimientos de ensayo, que muchas veces también han especificado los fabricantes de motores y vehículos.

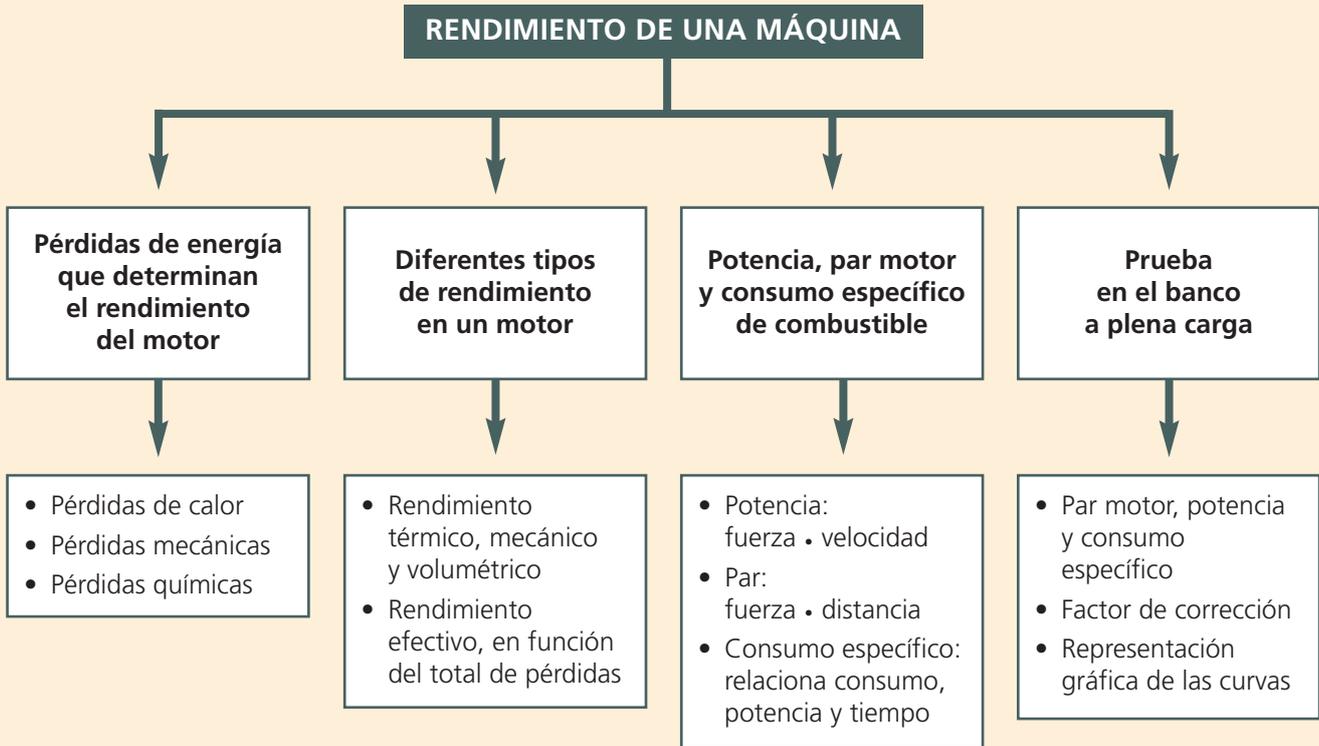
El departamento de ensayo de motores de Stuttgart es responsable de los desarrollos en su área. Esto posibilita afrontar variedad de tareas de investigación y desarrollo como el diseño y optimización de una célula de combustible (PCU), es decir, el sistema funcional formado por pistones, bulones, segmentos, camisas, bielas y cojinetes, o el ensayo de sistemas de accionamiento de válvulas o módulos de admisión completos.

¿Qué se hace en el departamento de ensayos de motores de MAHLE?

- Verificación del funcionamiento y de la resistencia de componentes.
- Análisis del consumo y de la separación de aceite.
- Examen de los depósitos de carbón y de la formación de residuos.
- Análisis de la refrigeración y de la distribución de la temperatura en los componentes.
- Optimización de las características acústicas y de vibración.
- Optimización de la dinámica de los fluidos.
- Minimización de las pérdidas por fricción y del desgaste de componentes.
- Análisis de los efectos de la combustión y la emisión de gases.
- Diálogo con los fabricantes de motores y de vehículos y, si es necesario, respuesta inmediata para retos técnicos imprevistos, incluyendo las mediciones para la investigación de las causas y el desarrollo de posibles soluciones.

Fuente: MAHLE

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://members.fortunecity.es/100pies/mecanica/potenciaypar.htm>
- <http://www.gassattack.com/articulos%20tecnicos/powervstorque.pdf>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Par_motor
- <http://www.mcatronic.com/Documentacion/Automoviles/potencia%20y%20par%20motor.pdf>
- <http://www.escharlamotor.org/info/parypotencia/>
- <http://www.bancosdepotencia.net/index.html>
- <http://motor.terra.es/flash/pruebas.htm>
- <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>

5

Disposición de los cilindros en el motor

vamos a conocer...

1. Motores policilíndricos
2. Disposición de los cilindros
3. Número de cilindros y orden de encendido
4. Posición del motor en el vehículo
5. Formas del cigüeñal y tiempos de trabajo
6. Constitución del motor

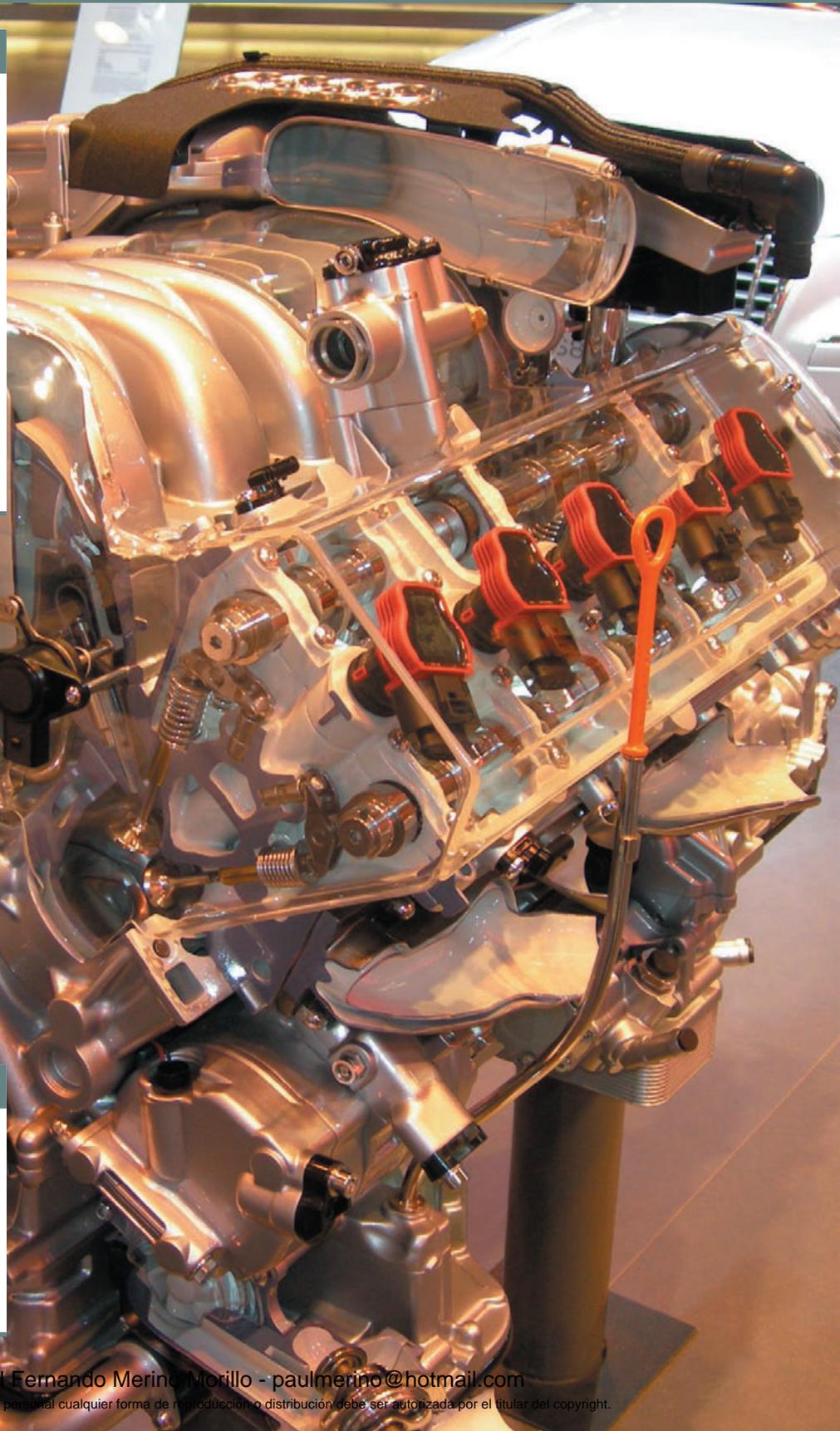
PRÁCTICA PROFESIONAL

Ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos

Clasificación de los elementos del motor

MUNDO TÉCNICO

Motores en W - ¿qué significa la W?



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las diferentes disposiciones de los cilindros en el motor.
- Analizarás los tiempos de trabajo en motores con diferente número y disposición de cilindros.
- Conocerás los elementos y sistemas que componen el motor térmico.

CASO PRÁCTICO INICIAL

situación de partida

Dos amigos acuden a un concesionario Honda de motocicletas y mantienen un debate sobre la adquisición de una de ellas, para el uso en OFF-ROAD. Tienen la duda sobre adquirirla de uno o dos cilindros, en la misma cilindrada, para lo que se plantean dos problemas, ya que a Juan le gusta la especialidad de Enduro y campo a través, mientras que Santiago prefiere las pistas rápidas. Realmente cualquiera de los dos modelos de motor podría cubrir

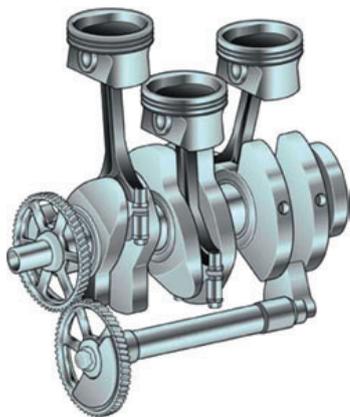
cualquiera de las especialidades de motociclismo, si bien es cierto la ligereza de una moto con respecto a la otra es significativa, al igual que también la suavidad y ausencia de vibraciones las hace diferentes.

Al final del debate ambos amigos eligen motos diferentes y cada uno la más acorde para su especialidad preferida. Juan eligió la monocilíndrica y Santiago la bicilíndrica que tenía la disposición en V.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuál de ambos motores consideras que tendrá menos vibraciones?
2. ¿Qué motor crees que eligió Juan para la especialidad que le gusta?, razona la respuesta.
3. ¿Conoces otra disposición en un motor de dos cilindros?
4. ¿Qué formas adopta el bloque motor en función de la disposición de cilindros?
5. ¿Por qué es necesario el orden de encendido?
6. ¿Cómo se distribuyen los tiempos de trabajo en los diferentes motores?



↑ **Figura 5.1.** Motor de tres cilindros con árbol de equilibrado.

caso práctico inicial

En los ciclomotores y en algunas motocicletas es muy usado el motor monocilíndrico. Juan usa una monocilíndrica en su práctica deportiva, una Honda NX 650.

1. Motores policilíndricos

Los motores con más de 500 cm³ se construyen con varios cilindros de manera que la fuerza de las explosiones se transmita al cigüeñal en impulsos sucesivos, con el fin de conseguir un giro regular.

La estructura de un motor varía en función del número de cilindros y de la forma en que estos se disponen sobre el bloque. El motor de cuatro cilindros en línea es el más empleado en automoción para volúmenes de hasta 2.500 cm³ y el de 6 cilindros en V para volúmenes superiores. El motor de cinco cilindros se emplea en ocasiones como solución intermedia en cuanto a tamaño y suavidad de funcionamiento.

Para pequeñas cilindradas, por debajo de 800 cm³, se emplean motores de 2 y 3 cilindros, muy usados en motocicletas. Y para cilindradas que sobrepasan los 4 litros, se construyen motores de 8, 10 y 12 cilindros.

Los Diesel lentos usan cilindros de grandes dimensiones, con volúmenes unitarios de hasta 2 litros, se fabrican de 6, 8, 10 y 12 cilindros. Debido a la gran fuerza de las explosiones, se requieren cigüeñales muy robustos y su funcionamiento es muy brusco.

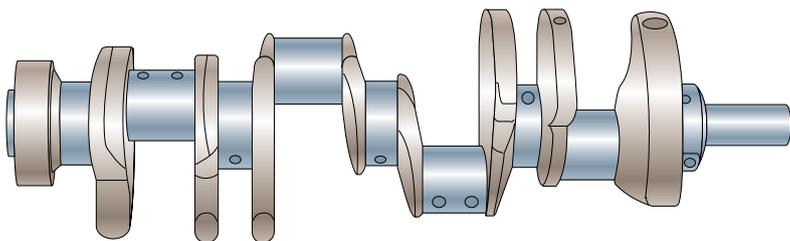
En motores para turismos se tiende a cilindradas unitarias relativamente pequeñas (250 a 500 cm³), lo cual supone ciertas ventajas en su comportamiento:

- Se obtiene mayor potencia específica, ya que los elementos móviles son más ligeros y se puede alcanzar mayor número de revoluciones.
- La marcha del motor resulta más suave y uniforme debido a que los impulsos que recibe el cigüeñal son de menor magnitud, pero más frecuentes, y se puede reducir la masa del volante de inercia.

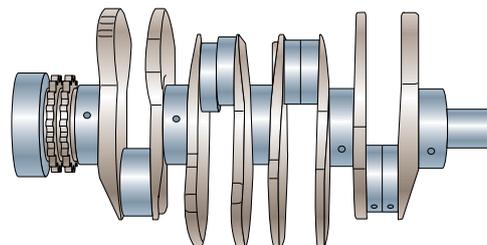
Si bien al aumentar el número de cilindros se consigue más potencia, también aumenta el número de elementos y el tamaño del motor, lo que incrementa las pérdidas por rozamiento y eleva el coste de fabricación.

Intervalo entre encendidos

En un motor de 4 tiempos, por cada 2 vueltas de cigüeñal (720°) se produce una carrera motriz en cada uno de los cilindros. Por tanto, en uno de 4 cilindros tendremos un impulso cada 180° (720° / 4 = 180°), y en uno de 6 cilindros cada 120°, por lo que en este motor se obtiene una mayor suavidad de marcha.



↑ **Figura 5.2.** Cigüeñal de motor V 8.



↑ **Figura 5.3.** Cigüeñal de motor W 8.

2. Disposición de los cilindros

Las dimensiones exteriores de los motores deben de adecuarse al compartimento que ocuparán en el vehículo. Así, los motores de más de 6 cilindros en línea resultan demasiado largos y altos, y sus cigüeñales están sometidos a excesivas vibraciones torsionales.

Por estos motivos, se recurre a diferentes formas constructivas de los bloques con el fin de lograr motores más compactos.

Clasificación de los motores por la disposición de sus cilindros (figura 5.4):

- Motores de cilindros en línea.
- Motores de cilindros en V.
- Motores de cilindros horizontales opuestos.

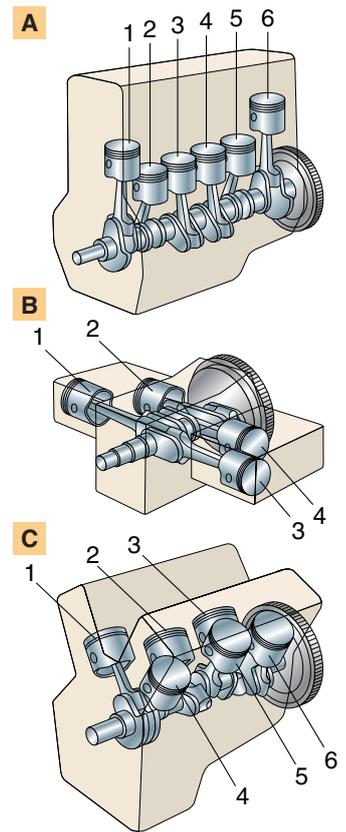
2.1. Motores de cilindros en línea (figura 5.5)

Sobre el bloque único se disponen los cilindros uno a continuación del otro, se emplea en motores de 2 a 6 cilindros y hasta de 8 en motores Diesel.

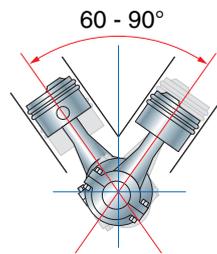
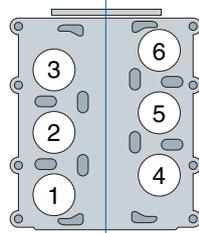
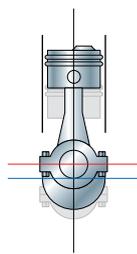
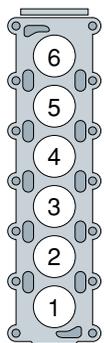
2.2. Motores de cilindros en V

Están constituidos por un doble bloque formando una V, cuyo ángulo suele ser de 90° o de 60° (figuras 5.6 y 5.8). También se construyen motores en V estrecha a 15° (figura 5.7).

Se consiguen motores de tamaño más corto y más bajo, aunque más ancho. Se aplica a motores de 6 o más cilindros.

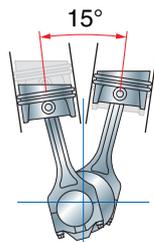
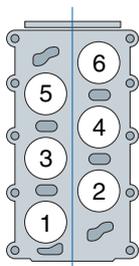


↑ **Figura 5.4.** Diferentes disposiciones de los cilindros: A- En línea, B- Opuestos, C- En V.

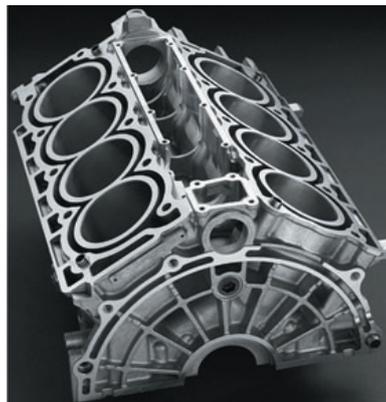


↑ **Figura 5.6.** Motor de 6 cilindros en V a 60°.

↑ **Figura 5.5.** Motor de 6 cilindros en línea.



↑ **Figura 5.7.** Motor en V a 15° con una sola culata.

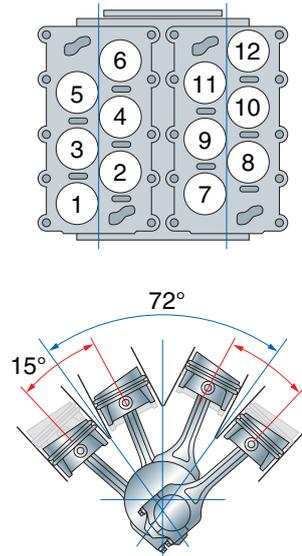


↑ **Figura 5.8.** Bloque motor de 8 cilindros en V.

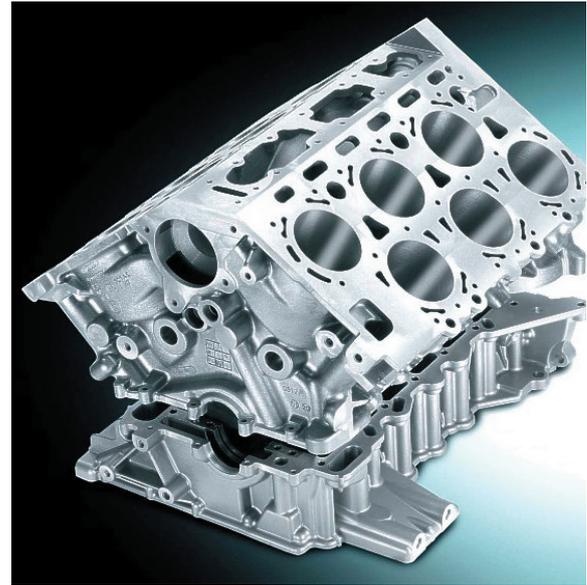
caso práctico inicial

La motocicleta usada por Santiago tiene la disposición de los dos cilindros en V a 52°.

El bloque en W se emplea en motores de 8, 10 y 12 cilindros. Se consigue un tamaño más compacto que en los clásicos motores en V (figura 5.9 y 5.10). Su ventaja es que se reduce la longitud del bloque y del cigüeñal.



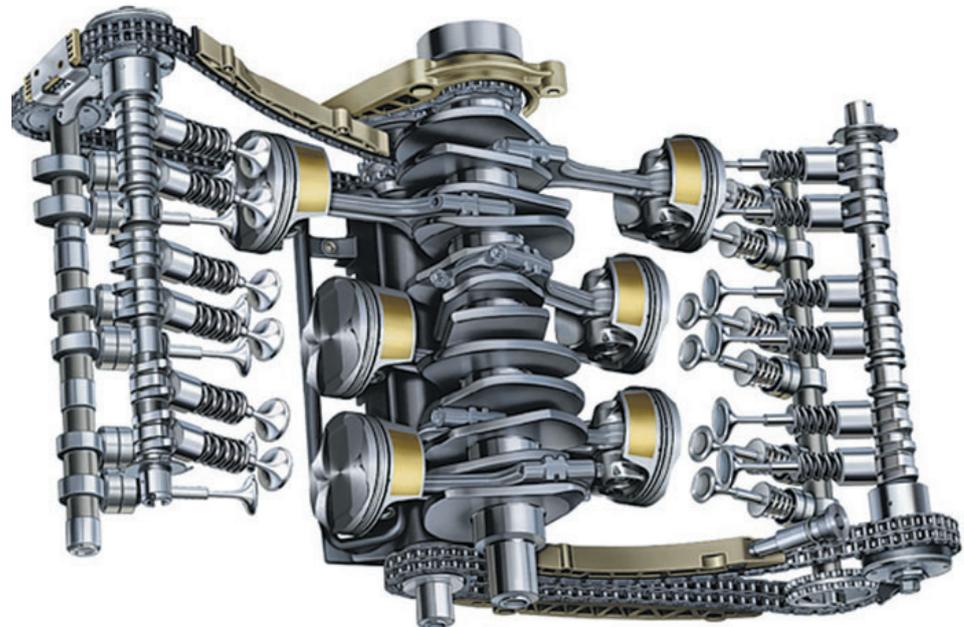
↑ **Figura 5.9.** Bloque motor de 12 cilindros en W.



↑ **Figura 5.10.** Bloque motor W12.

2.3. Motores de cilindros horizontales opuestos (figura 5.11)

Los cilindros van dispuestos en dos bloques unidos horizontalmente por su base con un cigüeñal común; se trata de un bloque en V a 180°. La altura de este motor queda muy reducida. Se construye en 2, 4 o 6 cilindros.



↑ **Figura 5.11.** Motor de cilindros horizontales opuestos (Boxer).

3. Número de cilindros y orden de encendido

En los motores policilíndricos se hace necesario numerar ordenadamente los cilindros. Según normas DIN, se comienza por el lado opuesto a la cesión de energía del motor, es decir, al lado contrario del volante de inercia (figura 5.4).

En motores con doble bloque se comienza por los cilindros situados a la izquierda, y después se enumeran los del bloque de la derecha (figura 5.12).

Las posiciones de izquierda o derecha se determinan desde el mismo lado donde empieza la numeración.

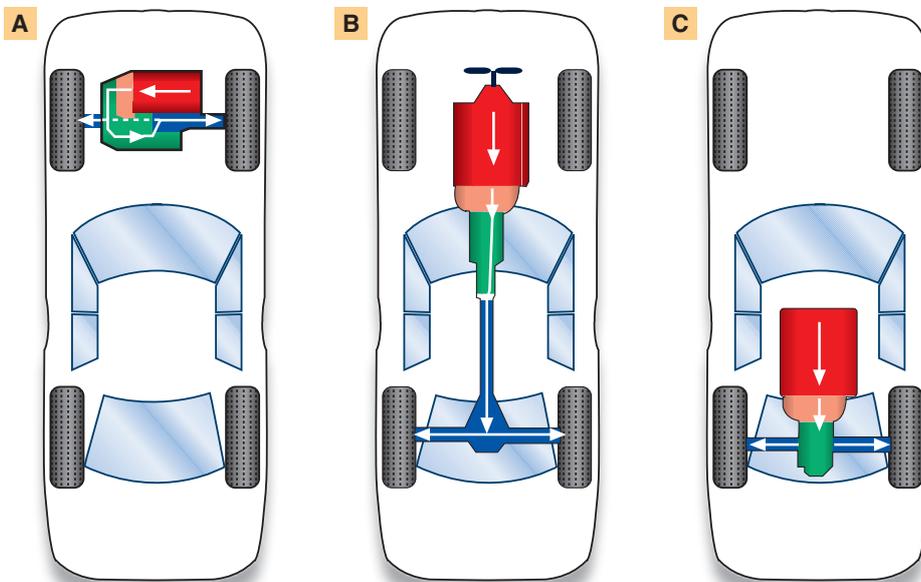
El orden de encendido determina la sucesión de impulsos que recibe cada pistón.

El ciclo de trabajo que se desarrolla en cada cilindro debe estar sincronizado con el de los demás, de tal forma que los impulsos se apliquen sobre el cigüeñal en el orden más adecuado para conseguir un giro regular y equilibrado.

4. Posición del motor en el vehículo

El motor puede ir montado en posición delantera, central o trasera (figura 5.13). Los factores que se tienen en cuenta para decidir la ubicación del motor son: distribución de pesos que afecta al comportamiento dinámico del vehículo, la utilización del espacio para pasajeros y carga, la refrigeración del motor o el tipo de vehículo.

- **Motor delantero.** Es la posición empleada en la mayoría de los vehículos ya sea con tracción delantera o propulsión trasera. La orientación del motor puede ser longitudinal o transversal.
- **Motor central.** Se sitúa entre los dos ejes desplazado hacia detrás o hacia delante según sea central trasero o central delantero. La disposición de motor central trasero se emplea exclusivamente en vehículos deportivos.
- **Motor trasero.** Va montado por detrás del eje trasero. Esta opción es muy poco utilizada actualmente



↑ **Figura 5.13.** Posición del motor en el vehículo. A Delantero transversal. B Delantero longitudinal. C Central trasero.



↑ **Figura 5.12.** Numeración de cilindros en un motor en V.



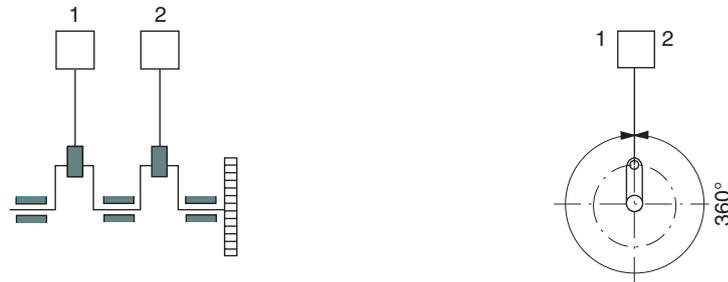
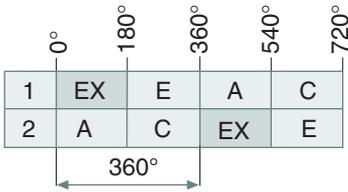
5. Formas del cigüeñal y tiempos de trabajo

La forma del cigüeñal y la disposición de sus muñequillas depende del número de cilindros, de la forma del bloque y de los tiempos de trabajo del motor.

5.1. Motores de 2 cilindros

Intervalo entre encendidos: $720^\circ / 2 = 360^\circ$

- 2 cilindros en línea

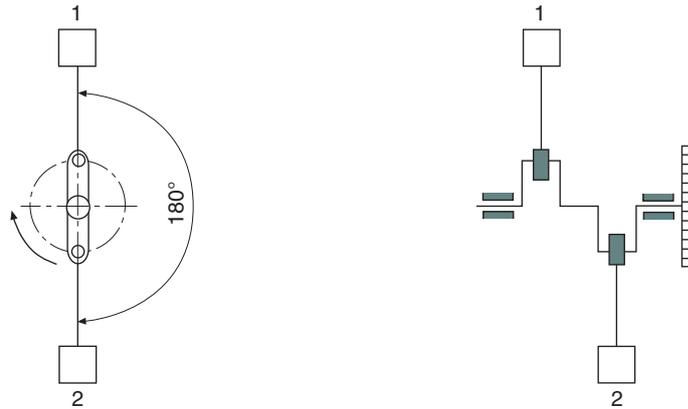


↑ Figura 5.14. Motor de 2 cilindros en línea.

caso práctico inicial

El intervalo de encendido en la motocicleta monocilíndrica, es cada 720° , mientras que en la bicilíndrica en V es cada 360° .

- 2 cilindros horizontales opuestos

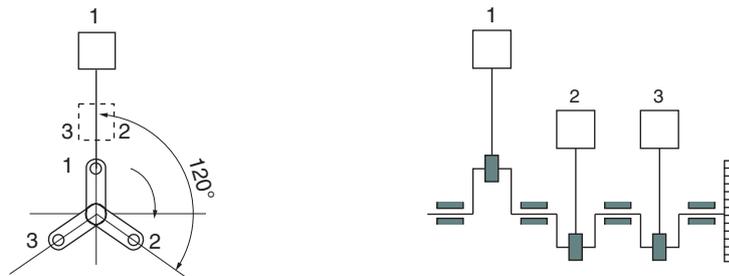
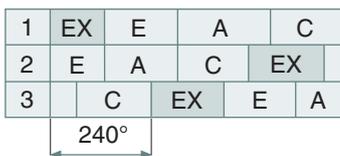


↑ Figura 5.15. Motor de 2 cilindros horizontales opuestos.

5.2. Motores de 3 cilindros

Intervalo entre encendidos: $720^\circ / 3 = 240^\circ$

Orden de encendido: 1-3-2



↑ Figura 5.16. Motor de 3 cilindros en línea.

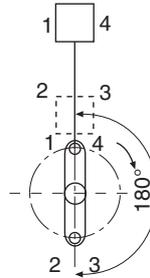
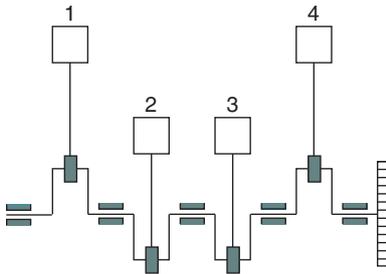
5.3. Motores de 4 cilindros

Intervalo entre encendidos: $720^\circ / 4 = 180^\circ$

• 4 cilindros en línea

Orden de encendido: 1-3-4-2

Orden de encendido: 1-2-4-3



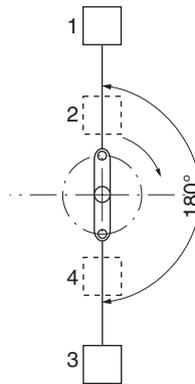
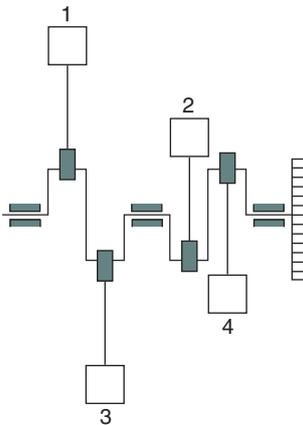
	0°	180°	360°	540°	720°
1	EX	E	A	C	
2	E	A	C	EX	
3	C	EX	E	A	
4	A	C	EX	E	
	180°		1-3-4-2		

1	EX	E	A	C
2	C	EX	E	A
3	E	A	C	EX
4	A	C	EX	E
	1-2-4-3			

↑ Figura 5.19. Motor de 4 cilindros en línea.

• 4 cilindros horizontales opuestos

Orden de encendido: 1-4-3-2



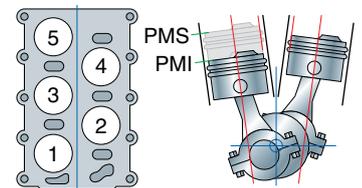
1	EX	E	A	C
2	E	A	C	EX
3	A	C	EX	E
4	C	EX	E	A

↑ Figura 5.20. Motor de 4 cilindros horizontales opuestos.

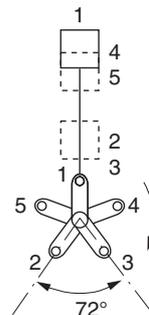
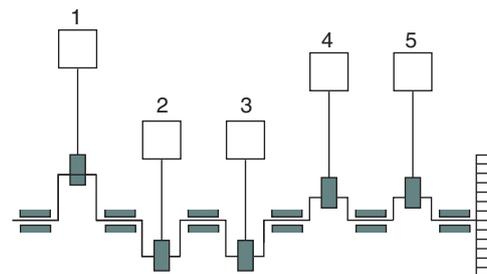
5.4. Motores de 5 cilindros (figura 5.21)

Intervalo entre encendidos: $720^\circ / 5 = 144^\circ$

Orden de encendido: 1-2-4-5-3



↑ Figura 5.21. Motor de 5 cilindros en V a 15°.



1	EX	E	A	C	
2	C	EX	E	A	
3	E	A	C	EX	
4		C	EX	E	A
5	A	C	EX	E	
	144°				

↑ Figura 5.22. Motor de 5 cilindros en línea.



5.5. Motores de 6 cilindros

Intervalo entre encendidos: $720^\circ / 6 = 120^\circ$

- 6 cilindros en línea

Órdenes de encendido:

1-5-3-6-2-4 ó 1-2-4-6-5-3

Orden: 1-5-3-6-2-4

	0°	180°	360°	540°	720°
1	EX	E	A	C	
2	E	A	C	EX	
3		C	EX	E	A
4		E	A	C	EX
5	C	EX	E	A	
6	A		C	EX	E

120°

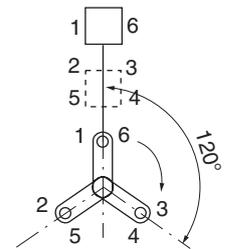
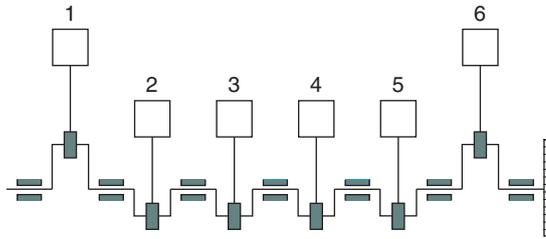


Figura 5.23. Motor de 6 cilindros en línea.

- 6 cilindros en V

En los motores en V, habitualmente cada muñequilla del cigüeñal es compartida por dos bielas cuyos pistones se sitúan uno a cada lado de la V.

Orden de encendido: 1-3-6-5-4-2

1	EX				
2					EX
3		EX			
4					EX
5				EX	
6			EX		

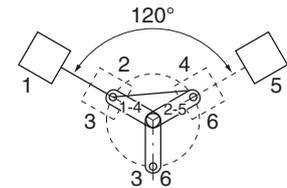
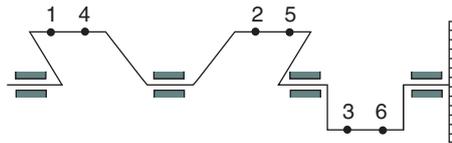


Figura 5.24. Motor de 6 cilindros en V.

5.6. Motores de 8 cilindros en V (figura 5.24)

Intervalo entre encendidos: $720^\circ / 8 = 90^\circ$

Orden de encendido: 1-5-4-8-6-3-7-2

1	EX				
2					EX
3				EX	
4		EX			
5	EX				
6			EX		
7				EX	
8			EX		

90°

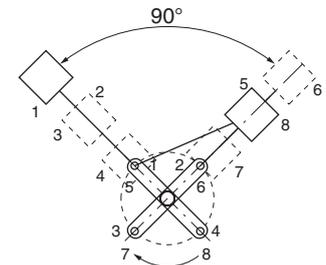
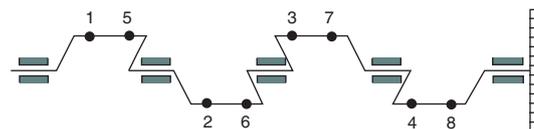


Figura 5.25. Motor de 8 cilindros en V.



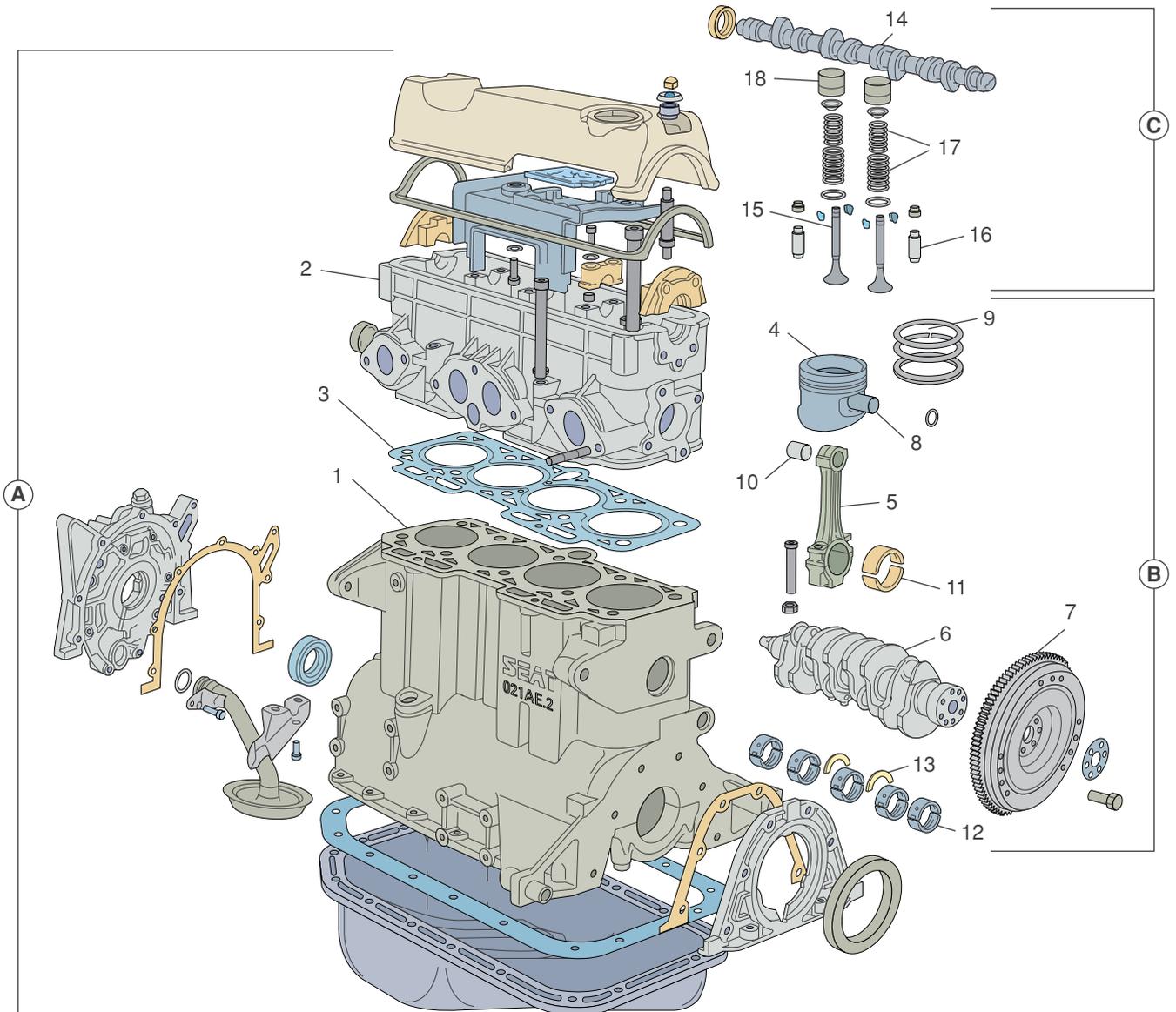
Figura 5.26 . Tren alternativo de motor W 12.

Motor de 12 cilindros en W (figura 5.25)

Intervalo entre encendidos $720 / 12 = 60^\circ$

Orden de encendido 1-12-5-8-3-10-6-7-2-11-4-9

6. Constitución del motor

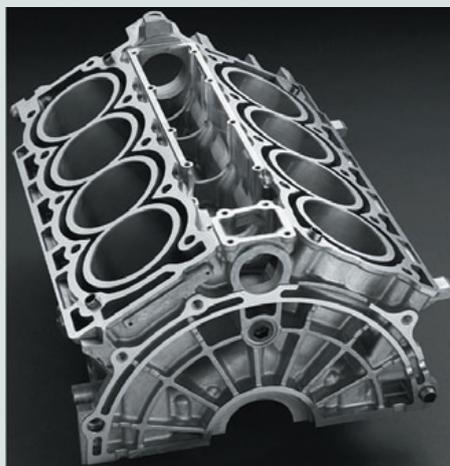


A. GRUPOS ESTRUCTURALES	B. TREN ALTERNATIVO	C. DISTRIBUCIÓN
1 Bloque motor	4 Pistón	14 Árbol de levas
2 Culata	5 Biela	15 Válvulas
3 Junta de culata	6 Cigüeñal	16 Guías de válvula
	7 Volante de inercia	17 Muelles
	8 Bulón	18 Taqués
	9 Segmentos	
	10 Casquillo de biela	
	11 Cojinete de biela	
	12 Cojinetes de bancada	
	13 Cojinetes axiales	



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Qué ventajas tienen las cilindradas unitarias reducidas?
- 2. ¿Qué motores son los más usados actualmente en automoción, en cuanto a número de cilindros y forma del bloque?
- 3. ¿Cómo se determina el ángulo de giro del cigüeñal entre dos encendidos?
- 4. ¿Qué ángulo de giro entre encendidos tiene un motor de 8 cilindros?
- 5. ¿Qué ventajas tienen los motores en V?



- 6. ¿Qué modelos de vehículos conoces que monten un motor de 4 cilindros horizontales opuestos?
- 7. ¿Cuáles son los dos órdenes de encendido posibles en un motor de 4 cilindros en línea?
- 8. ¿Cómo se numeran los 6 cilindros de un motor en V?
- 9. Dibuja el diagrama de los tiempos de trabajo de un motor de 6 cilindros en V con orden de encendido: 1-4-2-5-3-6.
- 10. Nombra los elementos que componen los grupos estructurales del motor.
- 11. Nombra los elementos que componen el tren alternativo.
- 12. Nombra todos los elementos de la distribución.



EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Con qué tipo de motores se consigue una marcha más suave y uniforme?

- a) Con Diesel lentos.
- b) Con policilíndricos con volumen unitario reducido.
- c) Con motores con cilindradas unitarias grandes.
- d) Con motores con cigüeñales grandes y robustos.

2. En un motor de seis cilindros: ¿con qué intervalo se producen los encendidos?

- a) 120°.
- b) 180°.
- c) 240°.
- d) 360°.

3. ¿Por qué lado se comienzan a numerar los cilindros en un motor?

- a) Por el lado opuesto al volante de inercia.
- b) Por el lado de la salida de fuerza del motor.
- c) Por el lado opuesto a la distribución.
- d) Por el lado delantero del vehículo.

4. ¿Cuál es el orden de encendido más común en los motores de 4 cilindros en línea?

- a) 1, 2, 4, 3.
- b) 1, 4, 3, 2.
- c) 1, 2, 3, 4.
- d) 1, 3, 4, 2.

5. ¿Cuántas muñequillas suele tener el cigüeñal de un motor de 6 cilindros en V?

- a) 3.
- b) 4.
- c) 6.
- d) 12.

6. En un motor de cuatro tiempos de 2 cilindros, ¿cuántos impulsos se producen en una vuelta?

- a) 1.
- b) 2.
- c) 4.
- d) Ninguno.

7. En un motor de 4 cilindros en línea cuando el cilindro número uno baja en expansión, ¿qué tiempo está realizando el cilindro número cuatro?

- a) Admisión.
- b) Compresión.
- c) Expansión.
- d) Escape.

8. ¿Qué elementos forman los grupos estructurales del motor?

- a) Bloque, cigüeñal y pistones.
- b) Culata y distribución.
- c) Bloque y culata.
- d) Cigüeñal, árbol de levas y pistones.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor sobre soporte

Ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos

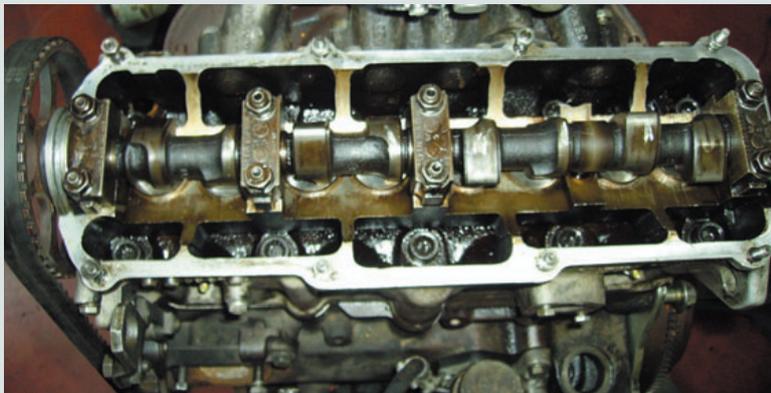
OBJETIVO

Conocer sobre el motor la distribución de los tiempos del ciclo en cada cilindro.

DESARROLLO

1. En un motor de cuatro cilindros en línea se desmonta la tapa superior de la culata y se identifican las válvulas de admisión y escape.
2. Se marcan con tiza las válvulas de admisión y se comprueba en que orden se abren durante dos vueltas de cigüeñal (1 – 3 – 4 – 2).
3. Se coloca el pistón número 1 en el PMS con las dos válvulas cerradas (final de compresión), se gira media vuelta en sentido de rotación correcto y nos fijamos en el movimiento de las válvulas.
4. El cilindro número 1 baja en expansión (válvulas cerradas) y el número 4 baja en admisión (válvula de admisión abierta).
5. El cilindro número 3 sube en compresión (válvulas cerradas) y el número 2 sube en escape (válvula de escape abierta).
6. En la siguiente media vuelta:
El número 1 sube en escape y el número 4 en compresión.
El número 3 baja en expansión y el número 2 en admisión.
7. Gira otras dos medias vueltas el motor y completa la siguiente tabla en tu cuaderno:

	0	1/2	1	1 1/2	2
1	EX	E			
2	E	A			
3	C	EX			
4	A	C			



↑ Figura 5.27.



↑ Figura 5.28.

Clasificación de los elementos del motor

OBJETIVO

Identificar y agrupar los elementos del motor.

DESARROLLO

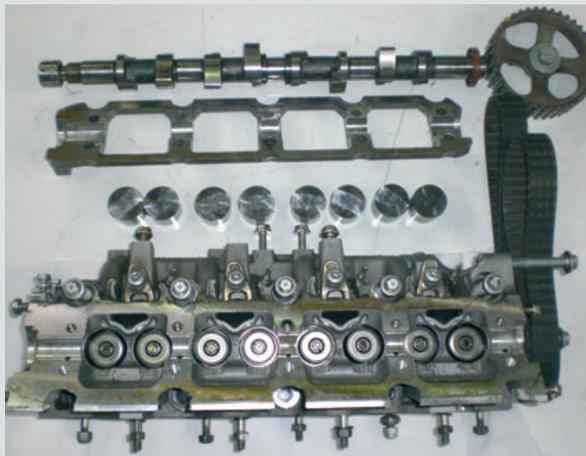
1. Desmontar un motor siguiendo las instrucciones de la documentación técnica
2. Identificar las piezas y ordenarlas formando varios grupos: tren alternativo, distribución, grupos estructurales y dispositivos auxiliares

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Utillaje específico

MATERIAL

- Motor sobre soporte



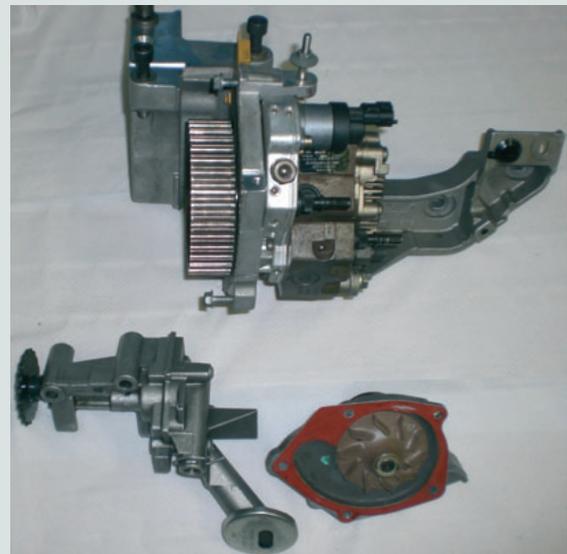
↑ Figura 5.29. Distribución.



↑ Figura 5.30. Tren alternativo.



← Figura 5.31. Elementos estructurales.



→ Figura 5.32. Dispositivos auxiliares: Bombas de agua y aceite. Bomba de alta presión de combustible.



MUNDO TÉCNICO

Motores en W - ¿qué significa la W?

Al perseguir el objetivo de conseguir grupos motrices más compactos con un mayor número de cilindros, se ha procedido a conjugar las características de los motores en V y en VR, obteniendo así los motores en W.

En el caso de los motores en V, los cilindros están agrupados en dos filas, que en los motores W8 y W12 adoptan un ángulo de la V de 72°. Los cilindros de una misma fila guardan un ángulo de 15° entre sí, igual que en los motores VR.

Si se contempla un motor en W por delante, la posición de los cilindros aparece como una doble V. Si unimos mentalmente las dos V de las filas izquierda y derecha obtenemos una W. De ahí ha surgido la denominación del motor en W.

Principio conceptual de los cilindros en W

Para explicar el principio conceptual de la configuración de los cilindros en el motor en W veremos primeramente las arquitecturas habituales de los motores.

El motor con cilindros en línea

Representa la etapa de desarrollo más remota. Los cilindros van dispuestos en una línea, verticalmente sobre el cigüeñal.

Ventaja: diseño simple.

Desventaja: si se tiene una mayor cantidad de cilindros resultan de ahí unos motores muy largos, que no pueden utilizar para el montaje transversal.

Motor con cilindros en V

Para obtener motores más cortos se procede a disponer los cilindros de los motores en V en un ángulo de 60° hasta 120°, y los ejes geométricos centrales de los cilindros pasan por el eje central del cigüeñal.

Ventaja: motores relativamente cortos.

Desventaja: los grupos motrices son relativamente anchos, tienen dos culatas separadas y plantean por ello una mayor complejidad para el diseño requiriendo a su vez un mayor espacio en el vano motor.

Motores VR

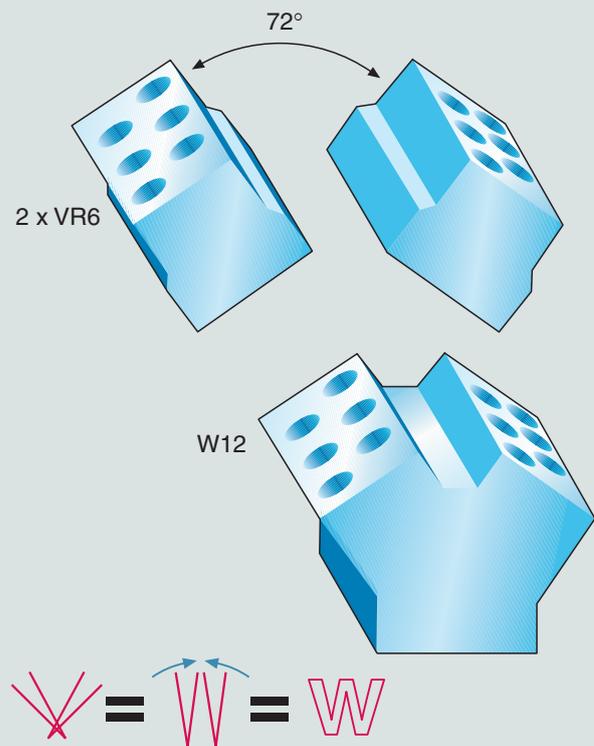
Para poder ofrecer una alternativa potente, también con los motores de montaje transversal en el segmento inferior, el desarrollo condujo a los motores de arquitectura VR. Seis cilindros se entrecruzan en una V estrecha a 15°, dando por resultado un bloque motor bastante esbelto y sumamente corto. En contraste con los diseños precedentes, este motor posee una sola culata.

Así por ejemplo, se ha podido ofrecer el Golf con un motor compacto VR 6 cilindros.

Motores en W

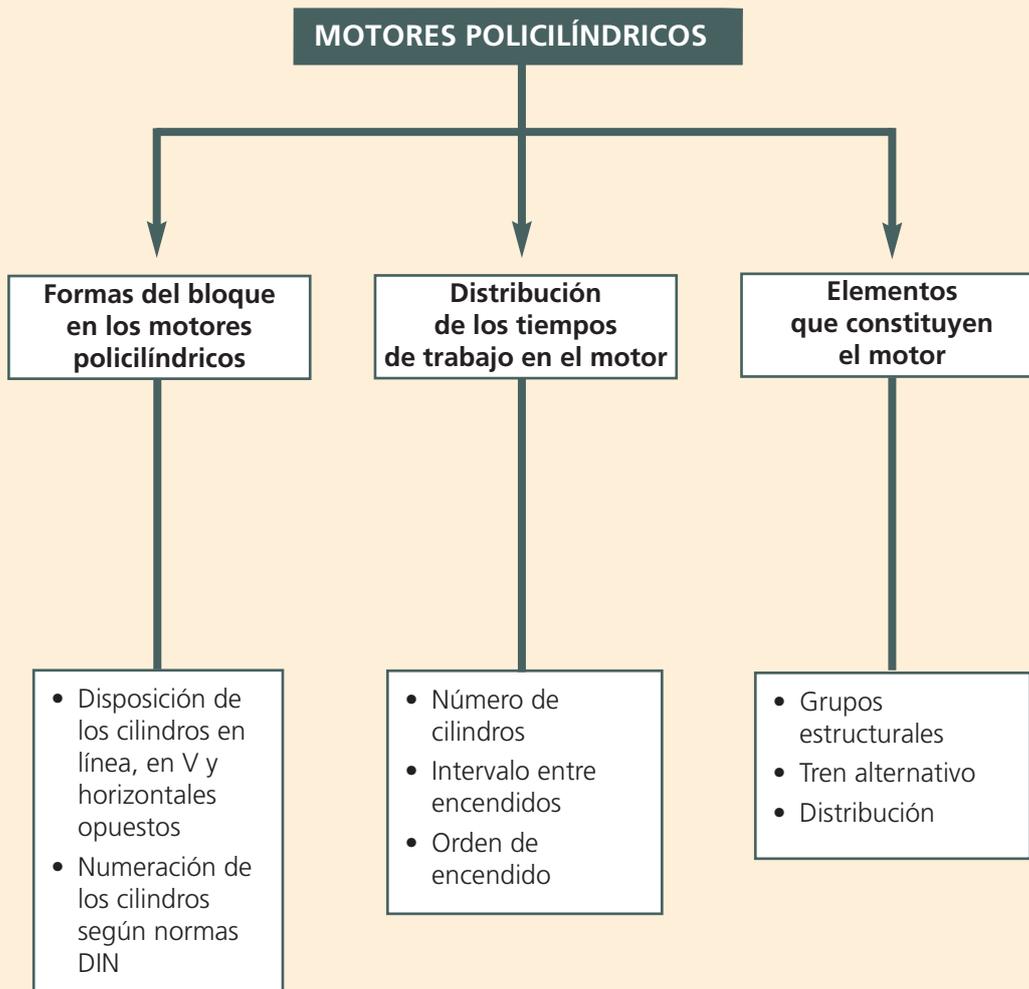
En el caso de la familia de motores en W se combinan respectivamente dos «filas VR» en un solo motor, siguiendo el principio de la modularidad.

Los cilindros de una fila guardan un ángulo de 15° entre sí, mientras que las dos filas VR se encuentran en un ángulo de la V de 72°.



VOLKSWAGEN AG

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.youtube.com/watch?v=-G5TcWg0TMc>
- <http://www.km77.com/00/subaru/tecnica/motordiesel4c/t01.asp>
- <http://www.elmundo.es/motor/MVnumeros/97/MV015/MV015bmw.html>
- http://www.km77.com/marcas/audi/a8_01/w12/0primera/sumario1-2.asp
- <http://www.diariomotor.com/2007/06/18/como-se-fabrica-el-motor-w16-del-bugatti-veyron-video/>

6

La culata

vamos a conocer...

1. Descripción de la culata
2. Tipos de culata
3. Cámara de combustión
4. Colectores de admisión y escape
5. Junta de culata

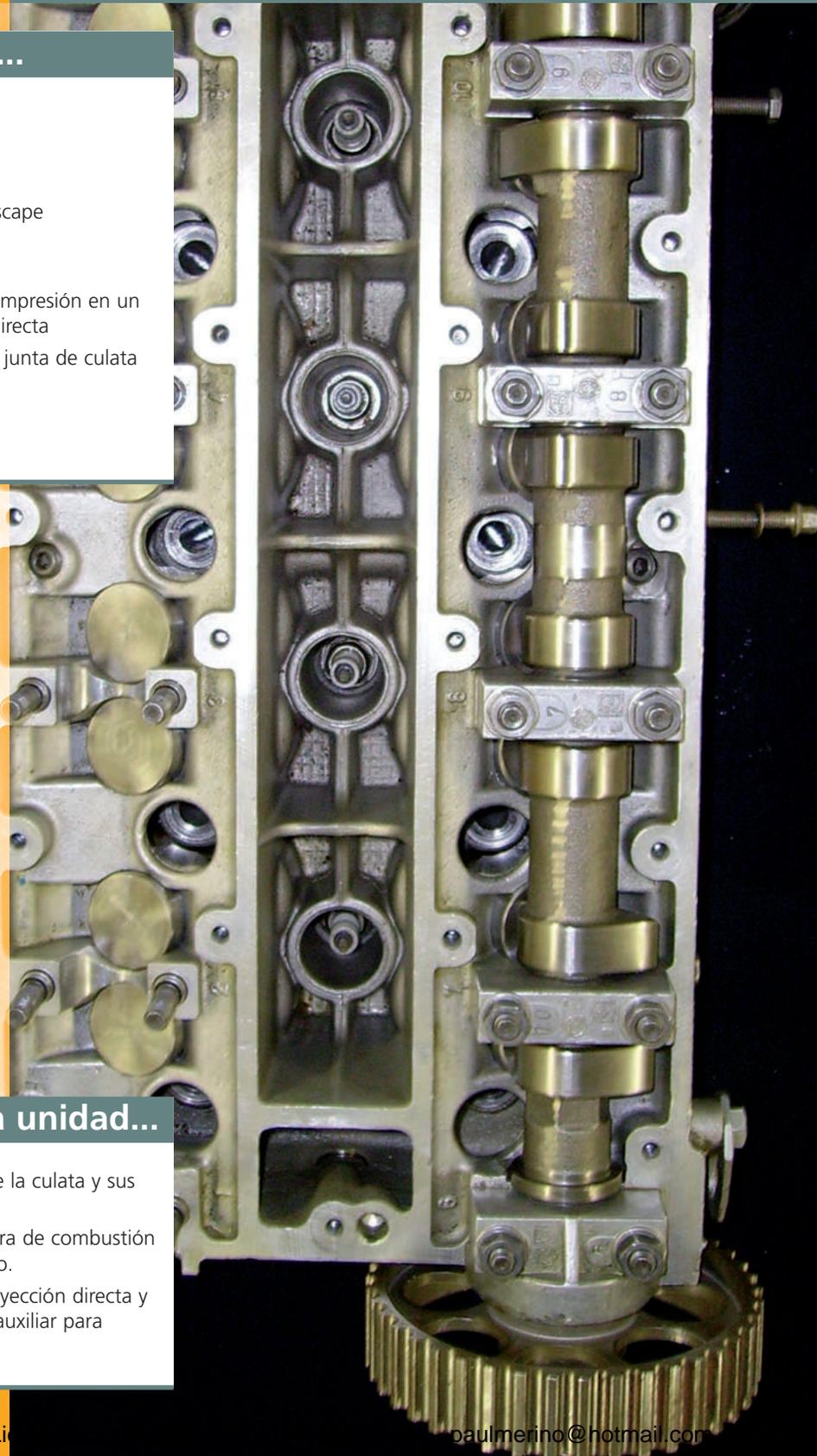
PRÁCTICA PROFESIONAL

Cálculo de la relación de compresión en un motor Diesel de inyección directa

Determinar el espesor de la junta de culata en un motor Diesel

MUNDO TÉCNICO

Juntas de culata MLS



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la constitución de la culata y sus principales características.
- Analizarás los tipos de cámara de combustión más usuales en motores Otto.
- Conocerás las cámaras de inyección directa y las cámaras de combustión auxiliar para motores Diesel.

CASO PRÁCTICO INICIAL

situación de partida

Dos amigos, Andrés y Alfonso, mantienen una conversación sobre qué pieza es exactamente la culata, Andrés que tiene menos conocimientos de mecánica, le comenta a Alfonso, que en una ocasión al coche de su padre (un Peugeot 407 HDI) le ocurrió una avería relacionada con la junta de culata. El inicio del problema, según Andrés, venía porque en alguna ocasión la temperatura del motor subió más de la cuenta.

Como Andrés es un profano en la materia, desconoce la relación que hay entre la culata y la junta de culata, a lo que Alfonso, que ha terminado el primer curso de electromecánica, le contesta que todo lo que le ha contado está relacionado con la culata, de hecho esta pieza cierra los cilindros por la parte superior, y para hacer una unión estanca se intercala la junta de culata.

Alfonso le explica que para su construcción se utiliza normalmente aluminio y que este material es muy propenso a la deformación si se sobrepasa su temperatura normal de funcionamiento, también le explica que es una pieza de complicado diseño porque tiene muchos conductos para el paso del líquido refrigerante, gases de escape y de admisión, aceite, etc., además tiene que estar muy bien calculada para que sea capaz de evacuar en la medida justa el calor que se genera en las cámaras de combustión del motor de su padre.

A continuación Alfonso, terminando la explicación, le explica que la culata se fija al bloque mediante tornillos que deben ser apretados con gran precisión.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué relación crees que pudo tener el exceso de temperatura del motor con la avería?
2. ¿Es posible que se mezcle el agua con el aceite en el cárter por un problema de la culata o de su junta?
3. ¿Consideras que será igual una culata de un motor Diesel que una de gasolina?
4. ¿Crees que se deben de cambiar los tornillos de la culata aunque solo se levante esta, para cambiar la junta?
5. Enumera diferentes formas de efectuar el apriete de una culata.



1. Descripción de la culata

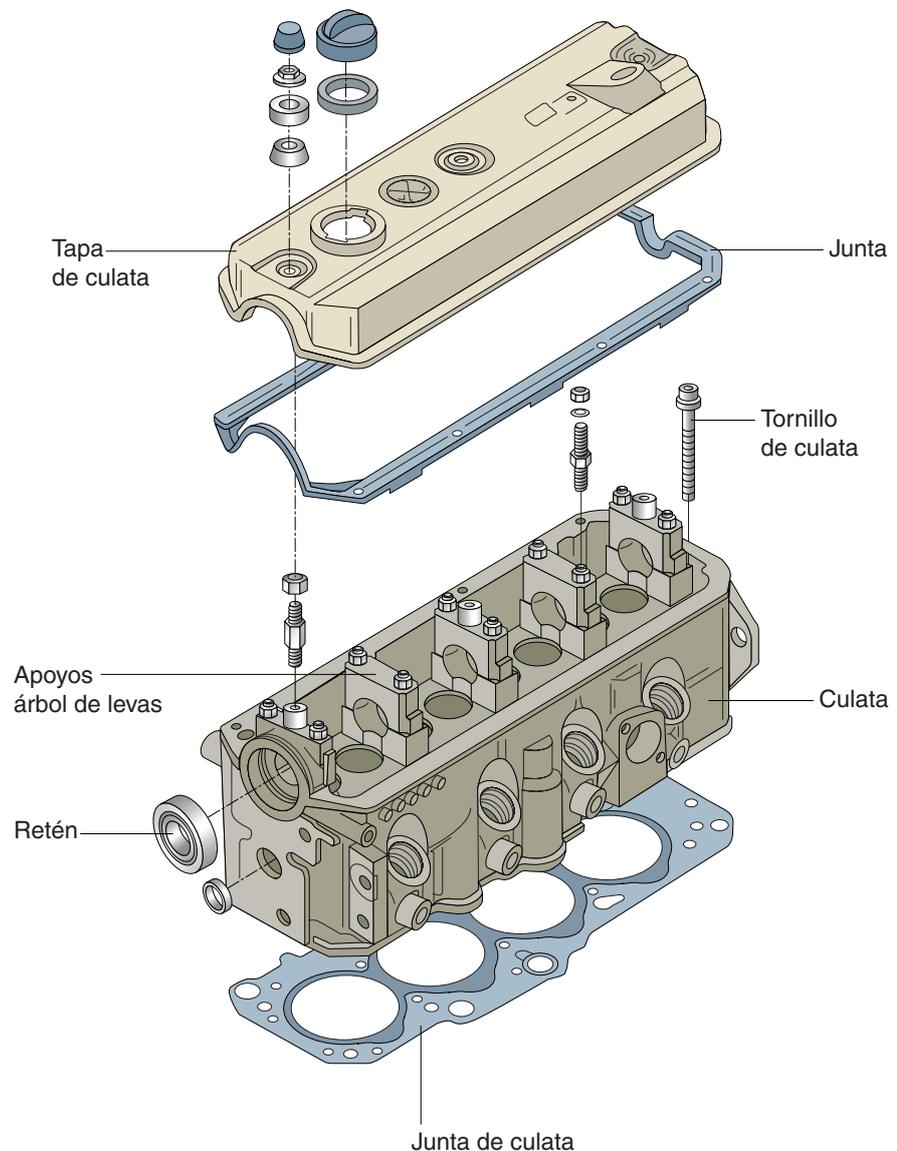
La culata es la parte del motor que cierra los cilindros por la parte superior. Se une al bloque mediante tornillos. Para hacer estanca la unión se intercala la junta de culata.

Es una pieza compleja en cuanto a su diseño y fabricación, ya que ha de poseer una elevada resistencia a pesar de sus formas irregulares y contiene cantidad de conductos, orificios y taladros roscados (figura 6.1).

En ella se forman las cámaras de combustión, las cámaras para el líquido de refrigeración y los conductos de admisión y escape.

Además, sobre la culata se montan las válvulas, los colectores de admisión y escape, los balancines, el árbol de levas, las bujías, los inyectores, etc.

Puede adoptar formas variadas en función del tipo de distribución.



↑ Figura 6.1. Culata.

1.1. Características

La culata es una pieza que está sometida a altas temperaturas y fuertes presiones, por lo que debe reunir ciertos requisitos:

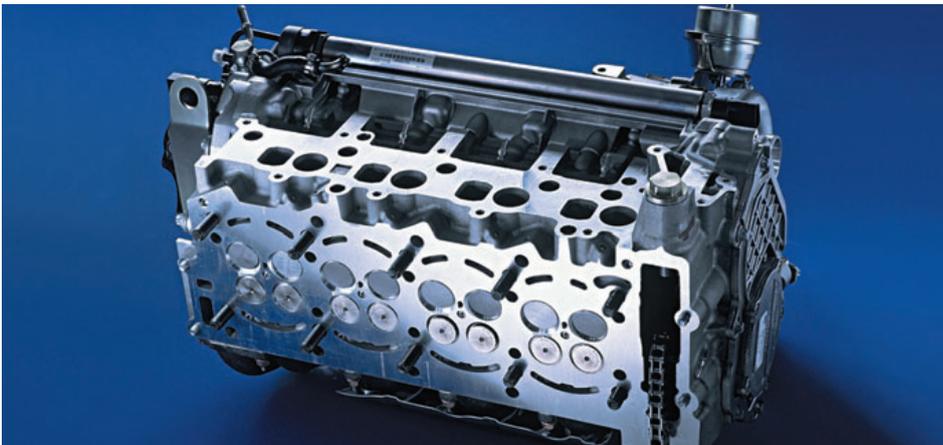
- **Robustez.** Para resistir las altas presiones que se producen durante la combustión y la corrosión por efectos químicos, originada al quemarse el combustible.
- **Estanqueidad** en su unión con el bloque, en la fijación de bujías o inyectores, en las válvulas, en los asientos y en las guías. Este es un punto fundamental ya que el grado de compresión influye directamente en la calidad de la combustión y, por lo tanto, en el rendimiento del motor.
- **Eficacia en el intercambio de gases.** Esto permite el llenado correcto del cilindro y la evacuación de los gases quemados mediante el dimensionado y la orientación adecuada de estos conductos para conseguir un buen rendimiento volumétrico.
- **Conductividad térmica** adaptada para mantener esta zona a la temperatura conveniente. El exceso de calor puede dar lugar a puntos calientes dentro de la cámara de combustión que provocarían la detonación, además pueden producirse daños en la válvula de escape o deformaciones en la culata. Por el contrario, si se enfría demasiado empeora la gasificación de la mezcla, ya que se cede gran cantidad de calor en los procesos de compresión y combustión, obteniéndose una combustión incompleta. Esto afectará negativamente al rendimiento del motor.

1.2. Fijación de la culata

Los tornillos que fijan la culata al bloque han de tener una resistencia capaz de soportar esfuerzos muy superiores a las presiones máximas que se originan en la combustión. Los puntos de fijación deben ser, como mínimo, cuatro por cilindro, repartidos de tal forma que la presión se distribuya de manera uniforme y no se produzcan deformaciones (figura 6.2).

Los tornillos de culata usados actualmente en los motores al ser apretados sobrepasan su límite elástico y sufren un ligero alargamiento logrando un apriete eficaz a lo largo de la vida del motor. Estos tornillos deben de ser sustituidos obligatoriamente cada vez que se desmontan.

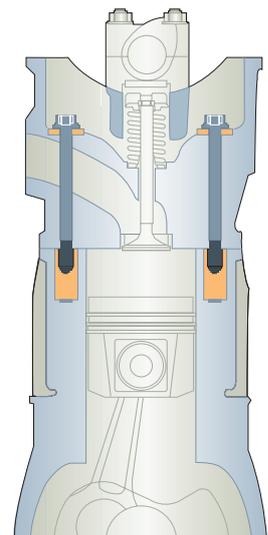
El apriete se efectúa con una llave dinamométrica capaz de medir el par de torsión que se aplica sobre el tornillo, o bien un apriete angular que consiste en aplicar a cada tornillo un determinado ángulo de giro. Se realiza según el orden y procedimiento que indique el fabricante, con el objeto de conseguir que todos los tornillos ejerzan la misma presión. Los diferentes procesos de apriete de la culata se explican en el punto 3 de la unidad didáctica 10.



↑ Figura 6.3. Culata de aleación.

caso práctico inicial

La culata debe reunir una serie de características que son imprescindibles para el buen funcionamiento del motor.



↑ Figura 6.2. Fijación de la culata al bloque.



2. Tipos de culata

La culata se fabrica mediante fundición en molde. La superficie de cierre con el bloque así como la zona de fijación de los colectores son mecanizados para obtener un buen acabado superficial que garantice la estanqueidad.

2.1 Materiales de fabricación

El material más empleado es la aleación de aluminio. También se utiliza el hierro fundido.

La **aleación de aluminio** o aleación ligera está compuesta de aluminio, silicio y magnesio. Sus principales cualidades son: buena resistencia, peso reducido y gran conductividad térmica, lo que permite alcanzar rápidamente la temperatura de funcionamiento y facilita la refrigeración. Es más propensa a las deformaciones y su precio es más elevado.

La culata de **hierro fundido** está construida con una aleación de hierro, cromo y níquel y resulta de gran resistencia mecánica y térmica. Sus principales características son su robustez y su resistencia a la deformación.

2.2. Refrigeración de la culata

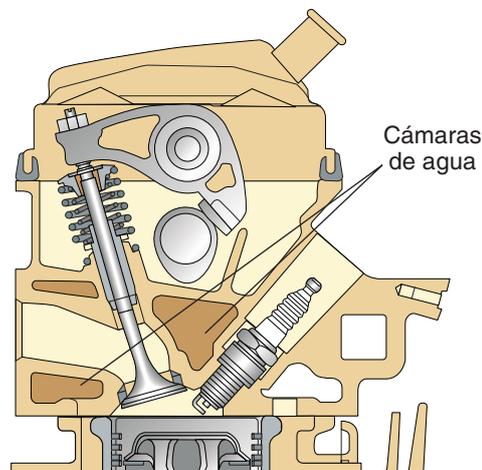
La **refrigeración por líquido** es el sistema más común en los motores de cuatro tiempos (figura 6.4).

El líquido de refrigeración se hace circular por unos conductos próximos a las cámaras de combustión para mantener la temperatura de esta zona dentro de los límites previstos.

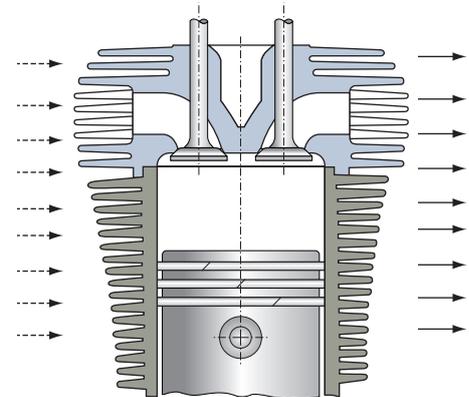
Las **culatas refrigeradas por aire** se construyen en aleación de aluminio y van provistas de aletas que aumentan la superficie en contacto con el aire refrigerante para hacer más efectiva la evacuación de calor (figura 6.5).

Es de fabricación más sencilla y económica que la refrigerada por agua, pero la estabilidad térmica es más irregular y corre mayor riesgo de calentamiento excesivo.

Se utilizan en motores de dos tiempos de pequeña cilindrada y en algunos de cuatro tiempos con circulación forzada de aire.



↑ Figura 6.4. Culata refrigerada por agua.



↑ Figura 6.5. Culata refrigerada por aire.

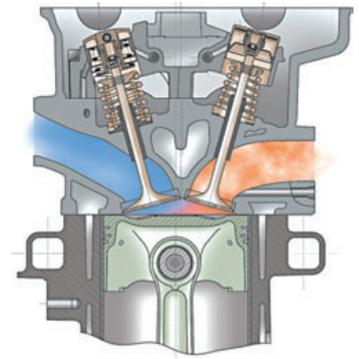
3. Cámara de combustión

La cámara de combustión es el espacio que se forma entre la cabeza del pistón, cuando este está en el PMS, y la culata. En este espacio se comprime el gas y se lleva a cabo el proceso de la combustión (figura 6.6).

La cámara se construye generalmente en la culata, y en ella se alojan las válvulas de admisión y escape y la bujía o el inyector en los motores Diesel.

En algunos motores, la cámara se construye sobre la cabeza del pistón (cámara Herón y Diesel de inyección directa), en este caso la culata es plana y las válvulas quedan a muy poca distancia del pistón. Para evitar que lleguen a chocar, es preciso extremar las precauciones cuando se realicen trabajos que puedan modificar esta distancia, como el rectificando de la superficie de la culata o del bloque, el espesor de una junta nueva o el calado de la distribución.

La forma de la cámara y su volumen influyen decisivamente en el rendimiento del motor. El volumen queda definido por la relación de compresión, pero es el diseño de su forma lo que va a determinar las características de la cámara.

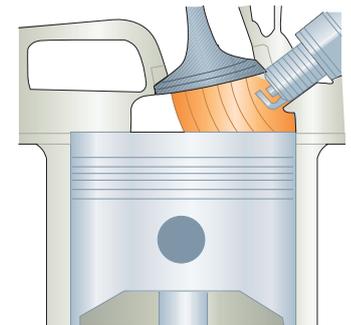


↑ Figura 6.6. Cámara de combustión en la culata de un motor Otto.

3.1. Cámara de combustión para motores Otto

En los motores Otto, el salto de chispa en la bujía inflama la mezcla de aire y combustible iniciando la combustión, esta se desplaza a través de la cámara formando un frente de llama (figura 6.7). El desplazamiento de este frente ha de ser rápido y uniforme. Para conseguirlo, las cámaras deben reunir las siguientes características:

- **Mínimo recorrido del frente de llama.** Esto exige una cámara compacta con poca superficie en relación al volumen.
- **Combustión rápida.** Se consigue con una gran turbulencia y corto recorrido del frente de llama.
- **Alta turbulencia.** El movimiento rápido de la masa gaseosa aumenta la homogeneidad de la mezcla y, por lo tanto, la velocidad de combustión.
- **Resistencia a la detonación.** Evitando las superficies o partes calientes, así como zonas de acumulación de carbonilla.

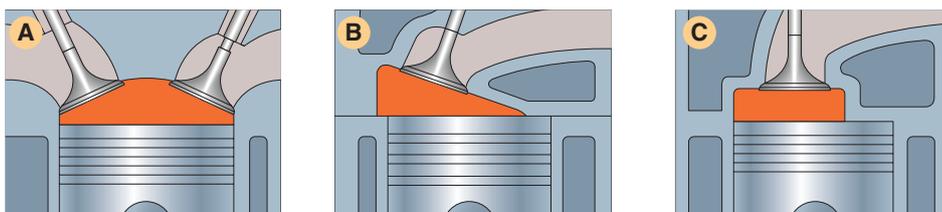


↑ Figura 6.7. Frente de llama en la cámara de combustión.

Cámara semiesférica

El modelo ideal de cámara es la semiesférica de forma compacta: su mínima superficie con relación a su volumen y su buena turbulencia, con la bujía situada en el centro, permite que el frente de llama se desplace rápida y uniformemente actuando sobre la cabeza del pistón.

La cámara semiesférica no siempre se puede conseguir en la práctica. En los motores Otto la forma de las cámaras de combustión está muy condicionada por la posición de las válvulas y la bujía de encendido (figura 6.8).



↑ Figura 6.8. Tipos de cámaras de combustión. A- Hemisférica, B- En cuña, C- Tipo bañera.



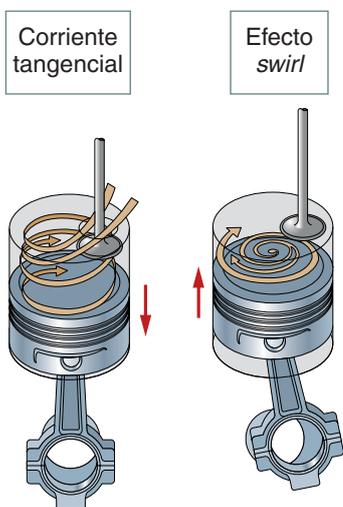
Cámara hemisférica

También llamada de forma de tejado, esta cámara presenta características muy parecidas a la ideal: pequeña superficie y pocas pérdidas térmicas. Las válvulas se disponen a los lados formando un ángulo de entre 20° y 60° , lo que favorece la entrada y salida de los gases y proporciona un amplio espacio para las válvulas. La bujía se sitúa en el centro.

Actualmente se ha generalizado este tipo de cámara ya que además de su alto rendimiento permite el montaje de cuatro válvulas por cilindro.

Cámara de cuña

Posee buena resistencia a la detonación y reducida superficie interior. La forma de cuña hace que la mayor parte de la mezcla se acumule en torno a la bujía, lo que origina un buen frente de llama. Ofrece buen rendimiento, aunque menor que la hemisférica. La disposición de las válvulas en paralelo simplifica su sistema de mando.



↑ **Figura 6.9.** Cámara en el pistón (cámara Herón).

Cámara de bañera

Con este tipo de cámara se puede conseguir un buen alzado de válvulas, pero el diámetro de estas queda reducido por falta de espacio y el recorrido del frente de llama es excesivamente largo. Es poco usada debido a su bajo rendimiento.

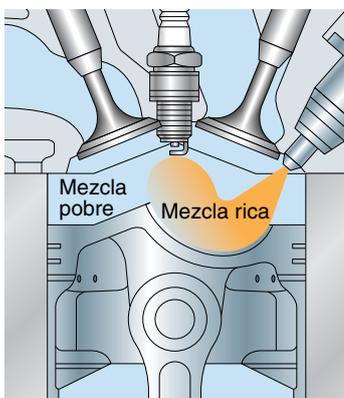
Cámara en el pistón (cámara Herón)

La culata es plana ya que la cámara de combustión se encuentra en la cabeza del pistón. La forma de la cámara crea una fuerte turbulencia durante la compresión. Con este tipo de cámara se consigue una mezcla muy homogénea que permite utilizar elevadas relaciones de compresión y empobrecer ligeramente la mezcla (figura 6.9).

Cámara para inyección directa

Los motores de inyección directa de gasolina emplean cámaras de combustión cuya parte superior es de tipo hemisférico convencional, lo más característico de estas cámaras es la forma de la cabeza del pistón.

En ciertas fases de su funcionamiento estos motores trabajan con una mezcla pobre estratificada (no homogénea). Para conseguirla se sirven de unos deflectores en el pistón cuya forma orienta convenientemente el torbellino de gas y dirige el combustible inyectado de manera que se concentra una mezcla rica en torno a la bujía y pobre en la periferia (figura 6.10).



↑ **Figura 6.10.** Cámara en un motor Otto de inyección directa.

Empleo de las diferentes cámaras de combustión

La cámara **hemisférica** es la de uso más generalizado debido a su buen rendimiento. Las de **cuña** y **bañera** se usan en algunos motores de pequeña cilindrada. La cámara en el pistón para motores en los que se necesita una gran turbulencia. Para los motores de inyección directa de gasolina se emplean deflectores en la cabeza del pistón.

3.2. Cámara de combustión para motores Diesel

En los motores Diesel, la combustión es provocada por la inyección de combustible a presión que penetra finamente pulverizado en el aire calentado por la fuerte compresión. En este caso no existe frente de llama, como ocurría en los motores Otto, sino que la combustión se produce en todos los puntos donde llega el chorro de combustible y se prolonga mientras dura la inyección.

Recordemos algunos aspectos que intervienen en el desarrollo de la combustión:

- **El motor Diesel trabaja por autoencendido.** Por ello, requiere una elevada temperatura del aire en la cámara de combustión (600 °C aproximadamente) y, por lo tanto, una elevada relación de compresión (entre 15 y 22/1).
- **La mezcla de aire y combustible se realiza dentro de la cámara.** Para homogeneizar la mezcla y aportar el oxígeno necesario para quemar el combustible es necesario provocar una gran turbulencia en el aire comprimido.

Las cámaras de combustión que se aplican a los motores Diesel son muy diversas dependiendo de las características del motor y del tipo de inyección. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: **cámara de inyección directa**, donde existe una cámara única, y **cámara de combustión auxiliar**, dividida en dos partes separadas pero comunicadas.

Cámara de inyección directa

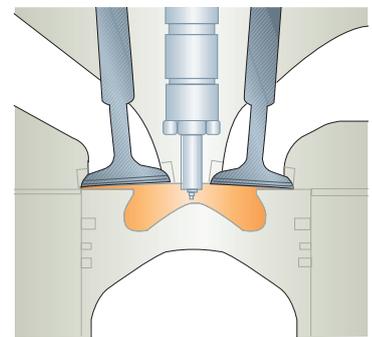
La inyección se realiza directamente en la cámara principal (figura 6.11), que va situada sobre la cabeza del pistón y generalmente adopta forma tórica (figura 6.13).

Se utiliza un inyector de varios orificios (figura 6.12) con elevada presión de inyección, (superior a 1.500 bares en motores rápidos), con el fin de conseguir buena penetración en el aire comprimido. Con la forma de esta cámara se busca un largo recorrido del chorro de combustible para que se evapore en su mayor parte antes de llegar al fondo del pistón.

La turbulencia que adquiere el gas en la admisión se intensifica durante la compresión debido a la forma toroidal de la cámara.

Los Diesel lentos de inyección directa se emplean en vehículos pesados. Los Diesel rápidos de inyección directa son más apropiados para su uso en turismos.

La mayor ventaja de este sistema es el bajo consumo específico de combustible.



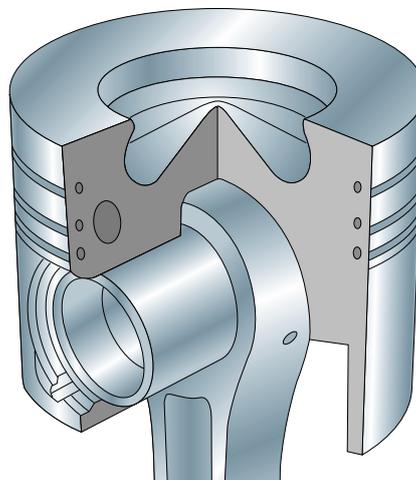
↑ **Figura 6.11.** Cámara de inyección directa.

caso práctico inicial

La culata del Peugeot 407 HDI es plana. Al ser un motor con inyección directa la cámara de combustión está construida sobre la cabeza del pistón.



↑ **Figura 6.12.** Cámara de inyección directa.



↑ **Figura 6.13.** Cámara tórica sobre la cabeza del pistón.



Cámara de combustión auxiliar

La inyección se realiza en una cámara auxiliar o precámara unida a la principal por un estrechamiento, cuya misión es provocar una gran turbulencia con el paso del fluido.

La cámara auxiliar se fabrica en acero especial con montaje postizo sobre la culata en una zona poco refrigerada para evitar pérdidas de calor.

En este sistema, la formación de la mezcla depende del alto grado de turbulencia y no tanto del sistema de inyección, por lo que se usan inyectores de un solo orificio con presiones entre 100 y 140 bar. La relación de compresión es más alta que en los de inyección directa, de 18 a 22/1.

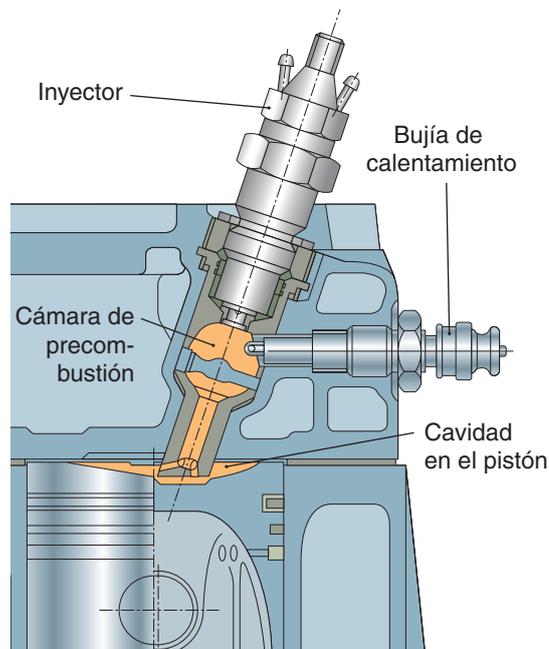
El uso de cámaras de combustión auxiliar suaviza el funcionamiento del motor Diesel, sin embargo el consumo específico de combustible aumenta. Para realizar el arranque en frío del motor es necesario elevar la temperatura de la cámara de combustión mediante bujías de calentamiento. Estos motores se emplean en turismos.

A continuación se explican los dos tipos de cámara auxiliar más usadas.

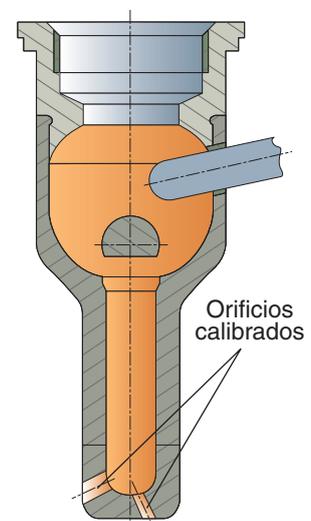
Cámara de precombustión

La precámara ocupa 1/3 del volumen de la cámara de combustión. Está comunicada con la cámara principal a través de unos orificios calibrados y orientados convenientemente hacia la cabeza del pistón, que también lleva tallada una cavidad (figuras 6.14 y 6.15).

El aire comprimido en la precámara aporta el suficiente oxígeno para que comience la combustión, de modo que se crea una sobrepresión que expulsa los gases inflamados a través de los orificios calibrados a gran velocidad. Esto provoca una turbulencia en la cámara principal que hace posible una combustión progresiva sin cambios bruscos de presión.



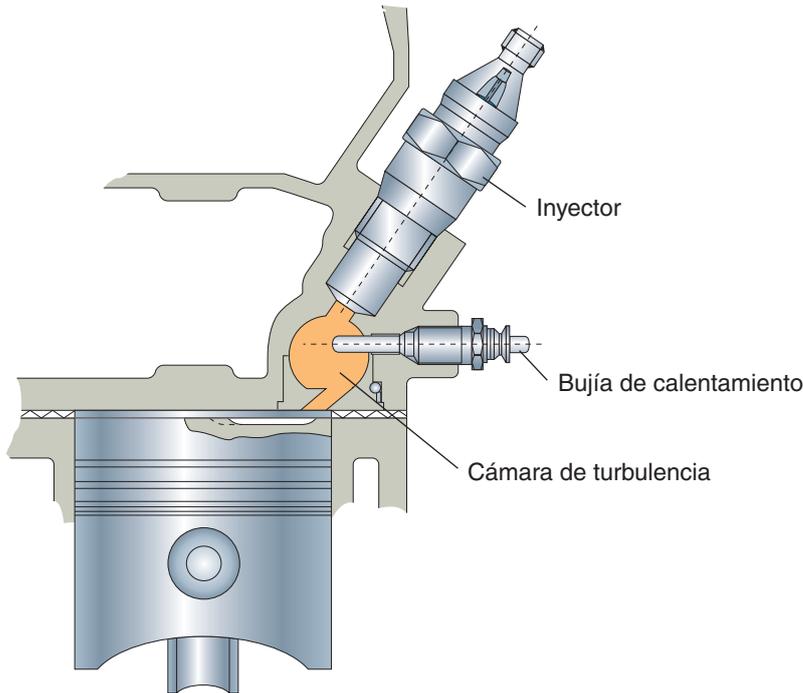
↑ Figura 6.14. Culata con cámara de precombustión.



↑ Figura 6.15. Cámara de precombustión.

Cámara de turbulencia

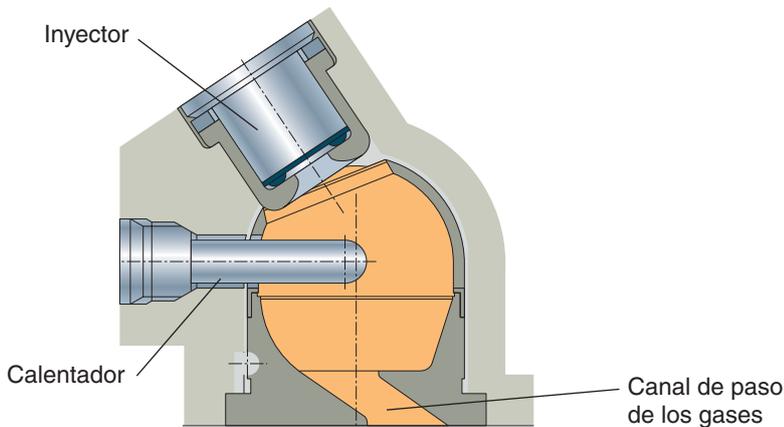
La cámara de turbulencia ocupa entre el 60 y el 90 % del volumen total de la cámara de combustión. En este sistema la comunicación entre las dos cámaras se hace a través de un canal de sección relativamente grande (figuras 6.16 y 6.17).



↑ **Figura 6.16.** Culata con cámara de turbulencia.

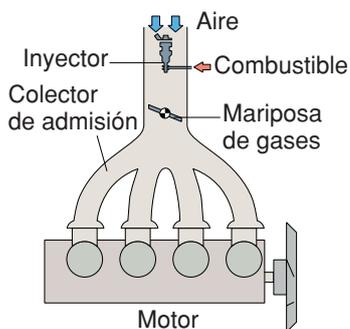
Durante la compresión, y a su paso por este canal, el aire adquiere una elevada turbulencia dentro de la cámara, que tiene forma esférica. El combustible se inyecta en este torbellino, lo que provoca el comienzo de la combustión. El aumento de presión que esto produce traslada la combustión, de forma rápida pero progresiva, a la cámara principal donde se completa la combustión.

La diferencia entre los dos tipos de cámara está en la forma en que se produce la turbulencia. En la cámara de precombustión se obtiene al iniciarse la combustión y ser expulsados los gases a través de los orificios, mientras que en la cámara de turbulencia se consigue durante la compresión.

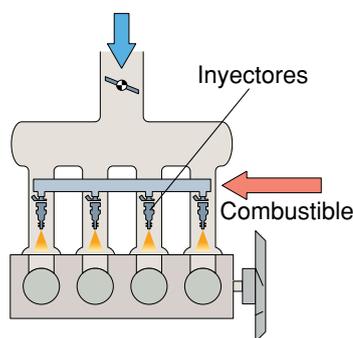


↑ **Figura 6.17.** Cámara de turbulencia.

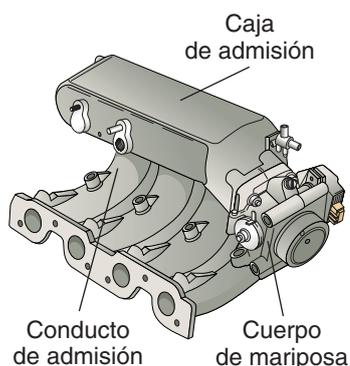




↑ **Figura 6.18.** Colector de admisión para inyección monopunto.



↑ **Figura 6.19.** Colector de admisión para inyección multipunto.



↑ **Figura 6.20.** Colector de admisión fabricado en aluminio.



↑ **Figura 6.21.** Colector de escape con turbocompresor.

4. Colectores de admisión y escape

4.1. Colector de admisión

Su cometido es conducir el gas de admisión hasta los cilindros. Puede adoptar formas diferentes dependiendo de su aplicación.

En los motores Otto de carburador y también con inyección monopunto, la mezcla se elabora de forma colectiva y después se reparte a cada cilindro (figura 6.18). Una buena distribución requiere tubos tan cortos y rectos como sea posible y de igual longitud.

Al objeto de favorecer la gasificación del combustible y evitar la excesiva condensación en las paredes del colector, es habitual que incorporen algún sistema de calentamiento. El método más común es hacer pasar el líquido de refrigeración por un conducto situado en el colector, después de la mariposa de gases.

El calentamiento de la mezcla ha de ser moderado ya que a medida que aumenta la temperatura la mezcla ocupa mayor volumen y el llenado empeora.

En los motores con inyección multipunto de gasolina, el combustible se dosifica individualmente para cada cilindro y se inyecta junto a la válvula de admisión. Esto permite dimensionar convenientemente los conductos de admisión para crear corrientes aerodinámicamente favorables, que mejoren el llenado de los cilindros (figura 6.19). También es posible montar sistemas de admisión variable, que consisten en adaptar las dimensiones de los conductos a medida que cambia el número de revoluciones del motor.

Para motores Diesel se diseñan conductos cuya orientación y forma provoca un movimiento espiral del fluido a su entrada en el cilindro. En los motores con cuatro válvulas se utilizan dos conductos de admisión, uno de llenado y otro de turbulencia.

El colector de admisión se fabrica en aleación de aluminio (figura 6.20) y materiales plásticos, se fija a la culata mediante espárragos con interposición de una junta.

4.2. Colector de escape

Recoge los gases quemados, que salen por las válvulas de escape a gran velocidad y elevada temperatura, y los dirige hacia el silenciador.

Las dimensiones de los tubos del colector se calculan para que las ondas de presión que escapan de los diferentes cilindros no interfieran entre sí, lo que facilita la salida de gases.

Debido a las elevadas temperaturas que soporta, se fabrica en fundición de hierro, y en algunos casos, en acero inoxidable.

La junta de unión con la culata es especial para altas temperaturas y absorbe las dilataciones y contracciones que se producen en esta zona.

En motores sobrealimentados el turbocompresor se sitúa sobre el colector de escape, muy próximo a las válvulas de escape, para que la turbina del compresor sea impulsada por los gases (figura 6.21).

5. Junta de culata

La junta de culata es la encargada de hacer una unión estanca entre la culata y el bloque para evitar fugas de gas en la compresión o de líquido en los conductos de refrigeración.

Ha de soportar elevadas temperaturas y presiones, manteniendo sus cualidades a lo largo de la vida del motor.

5.1. Tipos de juntas de culata

- Junta convencional de fibras
- Junta metálica multilámina (MLS)

Las **juntas convencionales de fibra** se fabrican con materiales deformables para que, al ser presionada por los tornillos de culata se adapte a las irregularidades de las superficies y los poros internos desaparezcan (figura 6.22).

Interiormente dispone de una lámina de acero perforada que le proporciona consistencia. Por ambas caras de esta lámina lleva una capa de fibras sintéticas muy resistentes al calor con caucho como aglutinante. Exteriormente va recubierta de una capa antiadherente de grafito. Los bordes de los orificios de los cilindros se protegen con arillos de acero para asegurar el sellado de las cámaras de combustión y sobre la superficie puede llevar un cordón sellador de silicona

La **junta metálica multilámina (MLS)** es el tipo de junta que se monta actualmente en la mayoría de los motores, está compuesta de varias láminas de acero muy finas y recubiertas de caucho. Tiene una alta resistencia mecánica, gran resistencia a las altas temperaturas, buena conductividad térmica y alta capacidad de sellado con pares de apriete más bajos. Para asegurar el sellado estas juntas requieren un buen acabado superficial en el bloque y la culata (figura 6.23).



↑ **Figura 6.23.** Junta metálica multilámina.

No está permitido el uso de fibras de amianto (asbesto) en la fabricación de juntas o de cualquier otro componente del automóvil ya que es un material muy perjudicial para la salud.

5.2. Marcas sobre la junta de culata

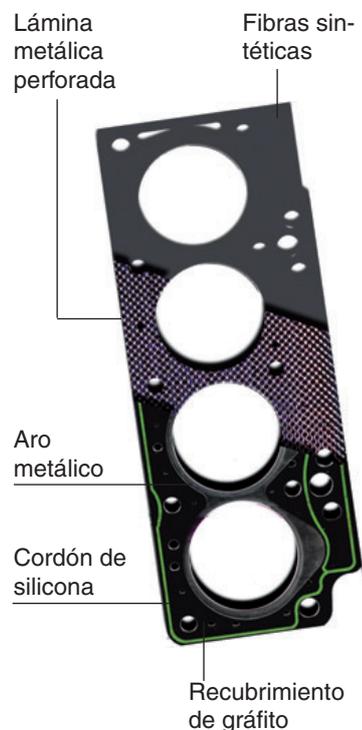
La posición de montaje viene marcada sobre la junta con las palabras TOP, OBEN o ALTO, esta marca se coloca siempre hacia arriba.

Para motores Diesel se fabrican juntas de recambio con cuatro o cinco espesores diferentes, se identifican por el número de muescas que se marcan en un lateral. El número de muescas indica el espesor de la junta (figura 6.24)

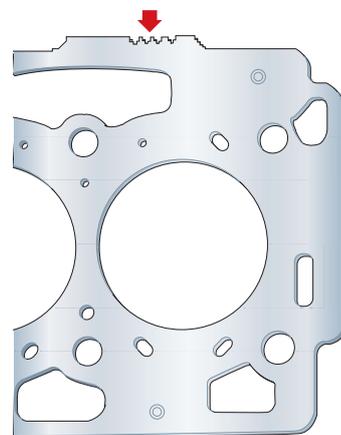
Puede contener otros datos como la composición de la junta o la identificación del motor.

caso práctico inicial

El elemento causante de la avería del motor en el caso inicial es la junta de culata.



↑ **Figura 6.22.** Composición de una junta de fibra.

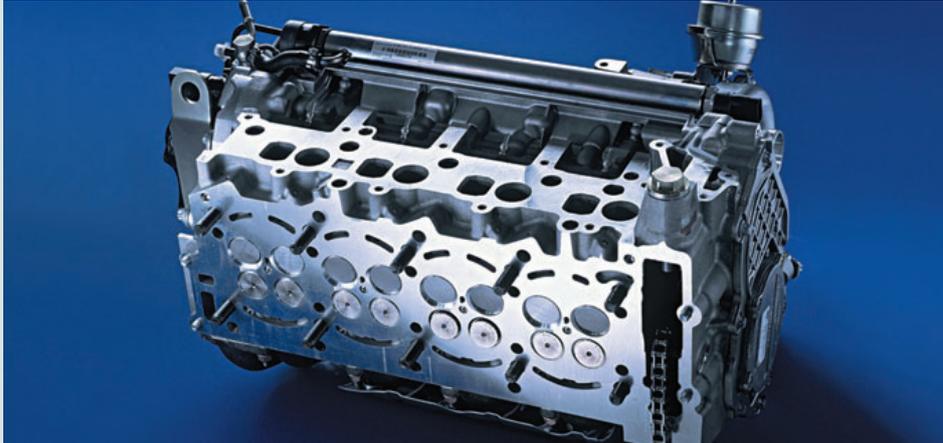


↑ **Figura 6.24.** Marcas de identificación sobre la junta de culata.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Cuál es el material más utilizado en la fabricación de culatas?



- 2. ¿Qué características deben reunir las cámaras de combustión para motores Otto?
- 3. ¿Cuál es la cámara con la que se obtiene mayor rendimiento en los motores Otto?
- 4. Describe la cámara de tipo Herón. ¿Qué ventajas tiene?
- 5. ¿Cuáles son los dos grandes grupos en los que se clasifican las cámaras de combustión para motores Diesel?
- 6. ¿Con qué tipo de cámara se consigue menor consumo en los motores Diesel?
- 7. ¿Qué tipos de cámara de combustión auxiliar conoces?
- 8. ¿En qué tipo de motores se aplica la cámara de combustión auxiliar?
- 9. El Diesel lento de gran cilindrada, ¿qué tipo de inyección utiliza?
- 10. Los materiales que se usan en la fabricación de juntas, ¿son muy deformables o poco deformables?
- 11. ¿Qué indica la marca *top* en una junta de culata?
- 12. ¿Qué misión tiene la junta de culata?
- 13. ¿Por qué motivo se disponen sistemas de calentamiento en los colectores de admisión?
- 14. ¿Qué diferencias existen en los colectores de admisión para motores con inyección monopunto y para inyección multipunto?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Qué metales componen la aleación ligera empleada para la fabricación de culatas?

- a) Aluminio, cromo y níquel.
- b) Aluminio, silicio y magnesio.
- c) Hierro, silicio y cromo.
- d) Níquel, cromo y silicio.

2 Las características de las cámaras de combustión están en función de:

- a) La forma de la cabeza del pistón.
- b) El tipo de válvulas y la bujía.
- c) La relación de compresión.
- d) El volumen y la forma de la cámara.

3 ¿Cuál es el tipo de cámara más usado en los motores Otto de 4 válvulas por cilindro?

- a) Cámara de cuña.
- b) Cámara de bañera.
- c) Cámara de refrigeración.
- d) Forma de tejado.

4 Una alta turbulencia en la cámara de combustión:

- a) Mejora la homogeneidad de la mezcla.
- b) Aumenta la velocidad de combustión.
- c) Las dos anteriores son correctas.
- d) Ninguna respuesta es correcta.

5 Las relaciones de compresión utilizadas en Diesel con cámara de combustión auxiliar:

- a) Son más altas que las de inyección directa.
- b) Son más bajas que las de inyección directa.
- c) Son sensiblemente iguales.
- d) Todas las respuestas son correctas.

6 ¿Qué tipo de cámara de combustión utilizan habitualmente los Diesel de inyección directa?

- a) Cámara de bañera sobre la cabeza del pistón.
- b) Cámara tórica sobre la cabeza del pistón.
- c) Cámara en cuña.
- d) Cámara de precombustión.

7 La cámara de turbulencia para motores Diesel es:

- a) Una cámara de precombustión.
- b) Una cámara de inyección directa.
- c) Una cámara de combustión auxiliar.
- d) Una cámara toroidal.

8 La junta de culata está formada por:

- a) Fibras blandas y muy resistentes al calor.
- b) Fibras muy duras y muy resistentes.
- c) Metales rígidos y fibras textiles.
- d) Amianto y acero.



PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Probeta graduada

MATERIAL

- Motor Diesel de inyección directa

Cálculo de la relación de compresión en un motor Diesel de inyección directa

OBJETIVO

Medir el volumen de la cámara situada en la cabeza del pistón y calcular la relación de compresión.

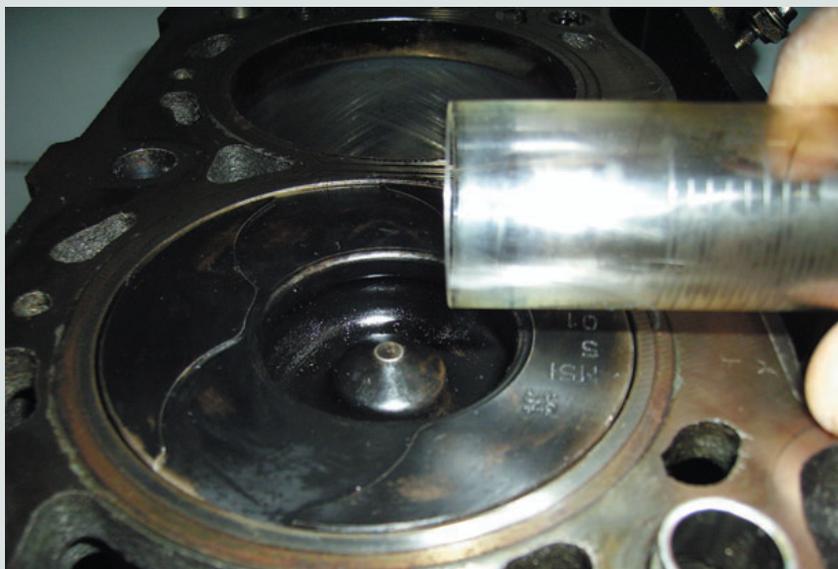
DESARROLLO

1. Se desmonta la culata y se sitúa el pistón número uno en el PMS.
2. En una probeta graduada se pone líquido de frenos hasta un determinado volumen y se vierte el líquido en la cámara hasta llenarla por completo.
3. La diferencia en el volumen de líquido de la probeta antes y después de la operación será el volumen de la cámara de combustión. Por ejemplo $V_c = 32 \text{ cm}^3$
4. Se mide con un calibre la carrera y el diámetro del cilindro y se calcula su volumen.

$$V_u = 560 \text{ cm}^3$$

5. Se calcula la relación de compresión:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c} = \frac{560 + 32}{32} = 18,5/1$$



↑ Figura 6.25. Medida del volumen de la cámara



↑ Figura 6.26. Cámara de combustión en el pistón.

Determinar el espesor de la junta de culata en un motor Diesel

OBJETIVO

Medir el saliente del pistón para calcular el espesor de la junta.

DESARROLLO

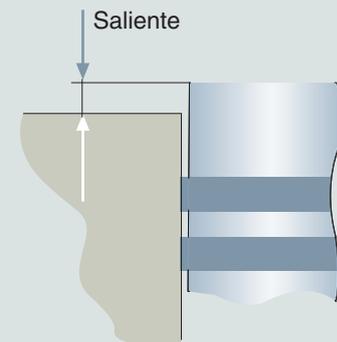
1. Se consulta la documentación técnica del motor relativa a las medidas del saliente del pistón y los espesores de juntas disponibles.
2. Controlar el saliente de los pistones.

Se limpia la cabeza de los pistones y se coloca el útil de medición en el cilindro número uno. Con ayuda del reloj comparador se busca el PMS, en esta posición se pone a cero el comparador y se desliza el útil hasta que el palpador se apoye en el plano del bloque. La medida que marca el reloj será el saliente del pistón.

Tomar dos medidas en cada pistón siempre sobre el eje longitudinal del bloque.



↑ Figura 6.27.



↑ Figura 6.28.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Reloj comparador y soporte plano

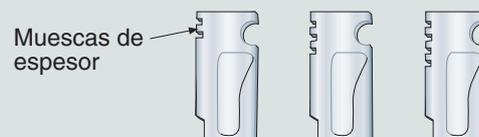
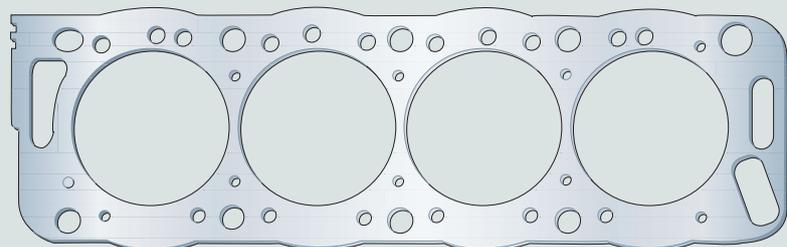
MATERIAL

- Motor Diesel
- Documentación técnica

Saliente del pistón (mm)	Identificación muescas
0,66 – 0,86	1
0,87 – 0,90	2
0,91 – 1,2	3

3. Para seleccionar el espesor de la junta se tomará la mayor de todas las medidas obtenidas. Ejemplo: mayor medida obtenida = 0,88. Utilizar la junta marcada con dos muescas.

En caso de que la medida seleccionada sea superior a la máxima se utilizará la junta de mayor espesor.



→ Figura 6.29.



MUNDO TÉCNICO

Juntas de culata MLS

Las exigencias de los motores actuales han provocado un cambio de concepto en el diseño y desarrollo de las juntas de culata en una evolución continua de su optimización, con dimensionamientos de tabiques muy reducidos, para garantizar: un menor peso total, menor rigidez del motor, mínima relación fuerza tornillado/encendido junto con un aumento de la potencia y la fuerza de apriete del motor.

A principios de la década de los años noventa aparecieron los motores Diesel de inyección directa y los motores Otto de elevada carga, y en los mismos se incorporaron las actuales juntas de culata de acero multi-lámina (MLS) de altas prestaciones sobre las que trata este primer artículo.

Concepto

Técnicamente, la junta de culata es la junta plana sometida a las mayores exigencias de trabajo en el interior de un motor: sellar las cámaras de combustión, los conductos de refrigerante y lubricante, y los agujeros de los tornillos entre sí. La junta de culata transmite las fuerzas entre la culata y el bloque motor, y por tanto, influye de manera importante en la distribución de cargas en el sistema global del motor y en la deformación de los cilindros.

Dependiendo del diseño del motor, una junta de culata consta de varias láminas de acero. Así por ejemplo, los motores Diesel de elevada carga de funcionamiento precisan de unas juntas de culata con un diseño constructivo mucho mayor que los motores Otto de escasa potencia y poca carga.

Las prestaciones de las juntas culatas deben resistir todo tipo de requerimiento químico, físico y estructural de los motores y deben ser construidas con una elevada resistencia a: los gases de combustión y a diversos fluidos agresivos, las altas temperaturas y rápidas variaciones térmicas de hasta 240 °C, y las altas presiones de combustión extremadamente variables y puntuales de hasta 120 bar en motores Otto y más de 200 bar en los motores Diesel, por citar algunos datos.

Exigencias químicas y físicas: resistencia a elevadas temperaturas, gran conductividad térmica, gran resistencia mecánica, gran potencial de estanqueidad, apriete en sección transversal, resistencia a la corrosión y escasa tendencia al asentamiento para eliminar la necesidad de reapriete.

Exigencias estructurales: adaptación a diferentes superficies (rugosidad y porosidad), estrechas tolerancias para forma, posición y espesor montado, grados variables de espesor montado, tabiques o almas estrechos, emisiones reducidas mediante menores volúmenes de grietas o hendiduras, montaje sencillo y reciclabilidad.

Construcción básica

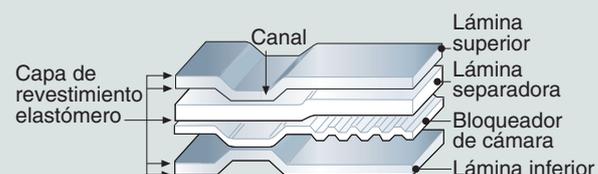
Las juntas de culata MLS están formadas por una serie de láminas de cubierta y suelo cuyas capas funcionales rebordeadas están compuestas de aceros para resortes de alta calidad y resistencia, que proporcionan el macro-sellado contra el bloque motor, la culata y las capas intermedias. Debido a la rigidez del acero, los rebordeos es-

pecíficos generan elevadas presiones alrededor de las cámaras de combustión, así como en el fondo de la junta para sellar los conductos de refrigerante y del lubricante. Además, las láminas de cubierta y de fondo ayudan a reducir las deformaciones de los componentes.

Los elementos constructivos básicos de las juntas de culata son los siguientes:

1. Un revestimiento elastómero en ambos lados de las capas activas que proporciona y garantiza un micro-sellado frente al bloque de cilindros y la culata y entre las mismas capas, y que además incrementa las propiedades de deslizamiento y la resistencia a los fluidos.
2. Un bloqueador (*stopper*) de cámara que aumenta la altura alrededor de la cámara de combustión, incrementando la presión superficial, y evitando así que los rebordeos de las capas activas queden aplastados (función de bloqueo).
3. Una lámina separadora con unas dimensiones concretas que actúa como un elemento de diseño y variable para modificar el espesor montado, facilitando una adaptación elástica/plástica a la cámara de combustión.
4. Un bloqueador (*stopper*) de fondo que permite proporcionar un soporte adicional a los cilindros exteriores, contrarrestando cualquier flexión de la culata, optimizando la deformación de las camisas de cilindros y los tabiques de los cojinetes principales.

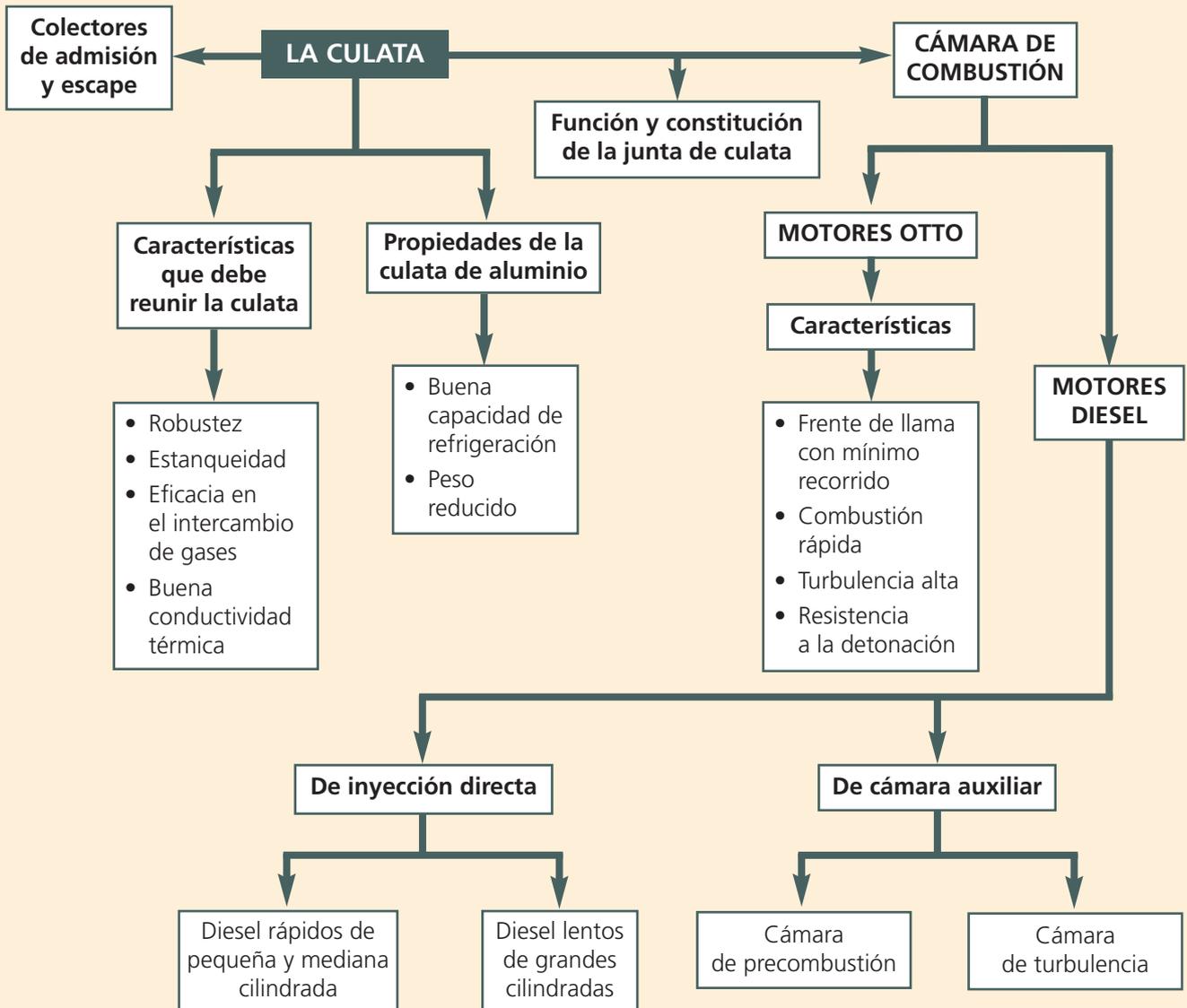
Además, las juntas de culata MLS están provistas de los elementos funcionales siguientes: material seleccionado, revestimientos, geometría de los rebordeos de las capas activas, diseño de los bloqueadores y el número de capas.



GLASER
SEALING PRODUCTS

JUNTAS DE CULATA
www.centro-zaragoza.com
José Ángel Rodrigo
Información y distribución

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.culata.com/>
- http://campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/culata/culata_solo_texto.htm
- http://ing.unne.edu.ar/pub/camaras_comb.pdf
- <http://itacr.com/payen.html>
- http://www.fraco.com.co/contenido_tecnicas.htm#mls
- <http://www.ajusa.es/noticias/data/upimages/41e.pdf>
- <http://www.ajusa.es/noticias/data/upimages/40e.pdf>
- <http://www.ajusa.es/noticias/data/upimages/29e.pdf>

7

Comprobación de la culata

vamos a conocer...

1. Normas generales en el desarrollo de las prácticas
2. Extracción del grupo motopropulsor
3. Desmontaje de la culata y sus componentes
4. Comprobación de la culata
5. Rectificado de la culata

PRÁCTICA PROFESIONAL

Comprobación del plano de culata
Reacondicionamiento de la culata

MUNDO TÉCNICO

Fallos en la junta de culata

y al finalizar esta unidad...

- Realizarás la extracción del grupo motopropulsor y el desmontaje de la culata.
- Seleccionarás la documentación técnica adecuada.
- Realizarás la comprobación de la culata para diagnosticar su estado.
- Aplicarás las medidas de seguridad que sean necesarias en cada operación.

situación de partida

Antonio, que utiliza su vehículo para ir todos los días al trabajo, observa que desde hace algún tiempo periódicamente tiene que añadirle líquido al circuito de refrigeración, pero no en mucha cantidad. Como el recorrido que hace diariamente es muy corto prácticamente no le había dado importancia, pero últimamente se da cuenta que la cantidad de refrigerante que añade es cada vez mayor y entiende que podría ser un problema que hay que resolver no sea que ocurra una avería mayor.

Acude al concesionario oficial y se lo cuenta al jefe de taller, este, tras la verificación oportuna del sistema, diagnostica el problema de vehículo, le comunica al propietario que el problema está en la culata, y que hay que desmontarla para verificar con exactitud la intensidad de la avería. También le aconseja que es necesario

resolverlo ya, ya que de continuar así el problema podría acarrear una avería de mayor envergadura.

Antonio accede a la reparación. El jefe de taller, tras esperar que el motor se enfríe y respetando las precauciones, extrae y desmonta la culata, procede a la limpieza de la misma y la verifica. El resultado es que la culata está deformada, por lo que es enviada al taller especializado, que, tras rectificarla y realizar las comprobaciones oportunas en cuanto a la altura de las válvulas y de las antecámaras, la devuelve al concesionario con la junta mayorada en función de lo que han rectificado.

Finalmente, el jefe de taller procede al montaje sobre el motor del vehículo.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Por qué crees que pudo ocurrir el problema del vehículo?
2. ¿Qué crees que puede ocurrir si no se realiza la reparación a tiempo?
3. ¿Con qué máquina crees que se realiza el planificado de la culata?
4. ¿Consideras que hay que tener alguna precaución con el medio ambiente a la hora de desmontar la culata?
5. ¿Por qué crees que algunas marcas fabrican juntas de culata de diferentes espesores para un mismo motor?

1. Normas generales en el desarrollo de las prácticas

Antes de comenzar cualquier intervención sobre el vehículo, es imprescindible consultar e interpretar la **documentación técnica del vehículo** para seleccionar los procesos de reparación más adecuados y conocer las operaciones particulares que sean necesarias, así como los valores de las comprobaciones, ajustes y reglajes (figura 7.1).



↑ **Figura 7.1.** Documentación técnica.

Las normas que se exponen a continuación deberán tenerse presentes en el desarrollo de las actividades:

- Aplicar procedimientos de **prevención de riesgos laborales** de acuerdo con lo establecido por normativa.
- **Seleccionar los útiles y herramientas más adecuadas** al trabajo que se va a realizar.
- **Mantener el entorno de trabajo limpio y ordenado.**
- **Limpiar y ordenar las piezas** a medida que se desmontan y, si es necesario, marcar la posición para facilitar su montaje en el mismo lugar que ocupaban. Marcar el cableado y las conexiones eléctricas.
- Comprobar que los **instrumentos y equipos de medida** que se van a utilizar **están en perfecto estado**. Se realizarán las mediciones con la mayor precisión posible.
- En el montaje, emplear los productos específicos recomendados por el fabricante: sellantes, decapantes, grasas, fijadores para tornillos, etc.

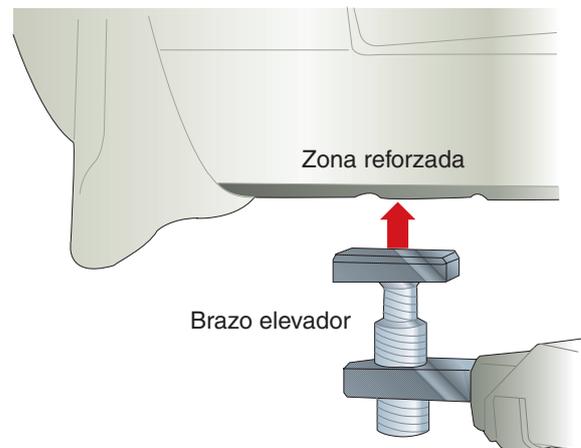
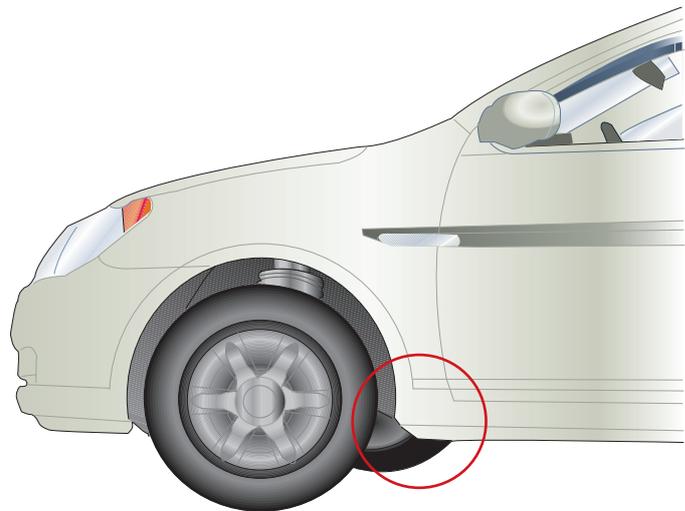
- Apretar los tornillos con los **valores de par especificados** en la documentación técnica.
- Recoger y almacenar adecuadamente los productos que puedan resultar **contaminantes para el medio ambiente**, tales como aceites usados, anticongelantes, filtros o baterías inservibles, para que sean **recogidos por servicios autorizados**, según las normas vigentes.

2. Extracción del grupo motopropulsor

La disposición más común actualmente en los vehículos es la de motor delantero transversal y tracción delantera (figura 7.3), donde la opción más aconsejable es extraer el grupo motopropulsor o conjunto motor-caja de cambios-diferencial.

2.1. Preparación del vehículo

- Colocar el vehículo sobre un elevador de brazos o sobre caballetes, localizar previamente los puntos reforzados previstos para su levantamiento (figura 7.2). El vehículo debe tener un apoyo estable y su peso estar centrado sobre el elevador.
- Quitar las dos ruedas delanteras, desconectar la batería y desmontar el capó.
- Vaciar el circuito de refrigeración y recoger el anticongelante.
- Vaciar y recoger el aceite del cambio.



↑ Figura 7.2. Zona reforzada para levantamiento del vehículo.



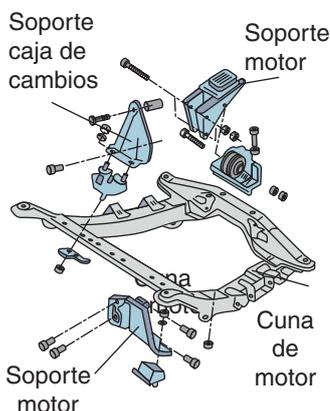
↑ Figura 7.3. Grupo motopropulsor delantero transversal y tracción delantera.

seguridad

Tener mucha precaución a la hora de colocar el vehículo en el elevador, dado que una mala colocación puede causar daños graves por caída del vehículo, extremar las precauciones en el transporte y manipulación del grupo motor una vez extraído del vehículo ya que es un elemento muy pesado.



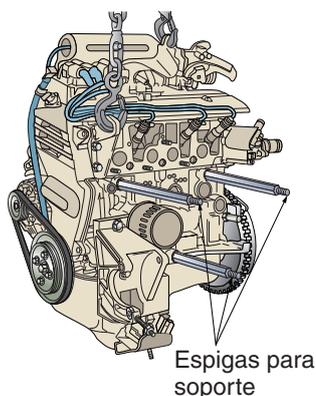
↑ Figura 7.4. Soporte de motor.



↑ Figura 7.5. Puntos de anclaje del grupo a la carrocería.

tratamiento de residuos

En caso de tener que desconectar el compresor o cualquier elemento del aire acondicionado que implique la emisión de gas refrigerante a la atmósfera, será imprescindible su recuperación empleando el equipo de carga, para evitar emisiones contaminantes.



↑ Figura 7.6. Extracción del motor.

2.2. Desmontaje de los elementos de unión del motor con la carrocería

Se procederá al desmontaje de los siguientes elementos:

- Caja del filtro y conductos de aire.
- Manguitos de refrigeración y calefacción.
- Conexiones eléctricas y trenza de masa.
- Elementos del encendido.
- Conexiones eléctricas del motor de arranque.
- Cables de acelerador, embrague y velocímetro.
- Varillaje de la caja de cambios.
- Unión del tubo de escape.

Es aconsejable que elementos como el compresor del aire acondicionado y la bomba de dirección asistida se retiren del motor y se sujeten provisionalmente en la carrocería para evitar abrir sus circuitos.

2.3. Desmontaje de la transmisión

Para realizar esta operación se deben consultar siempre las instrucciones del fabricante. Como orientación, se puede seguir el proceso que se indica a continuación:

Se desmonta la rótula de dirección y la fijación inferior del amortiguador. Se quita la tuerca de fijación del árbol de transmisión. Se desplaza el conjunto portamangueta hasta extraer el palier, primero del buje y después del lado del diferencial. Repetir la operación en la otra transmisión.

2.4. Extracción

Tras las operaciones anteriores el grupo motopropulsor ya solamente estará sujeto por los soportes del motor.

Estos soportes de motor (figura 7.4) van provistos de tacos de goma o caucho que hacen elástica la unión entre el motor y la carrocería. La posición que ocupa cada uno está estudiada para evitar que se transmitan las vibraciones a la carrocería y para amortiguar el balanceo que se produce en el motor con los cambios de marcha.

A continuación se debe proceder a sostener el grupo con una grúa aplicando el gancho a los puntos de izado de que suelen disponer los motores (figura 7.5). Después se desmontarán los soportes y se liberará el grupo para poder mover el conjunto hasta lograr extraerlo por la parte superior o inferior según aconseje el fabricante.

Durante la extracción se deberá tener el máximo cuidado para no originar daños en la carrocería o en otras partes mecánicas.

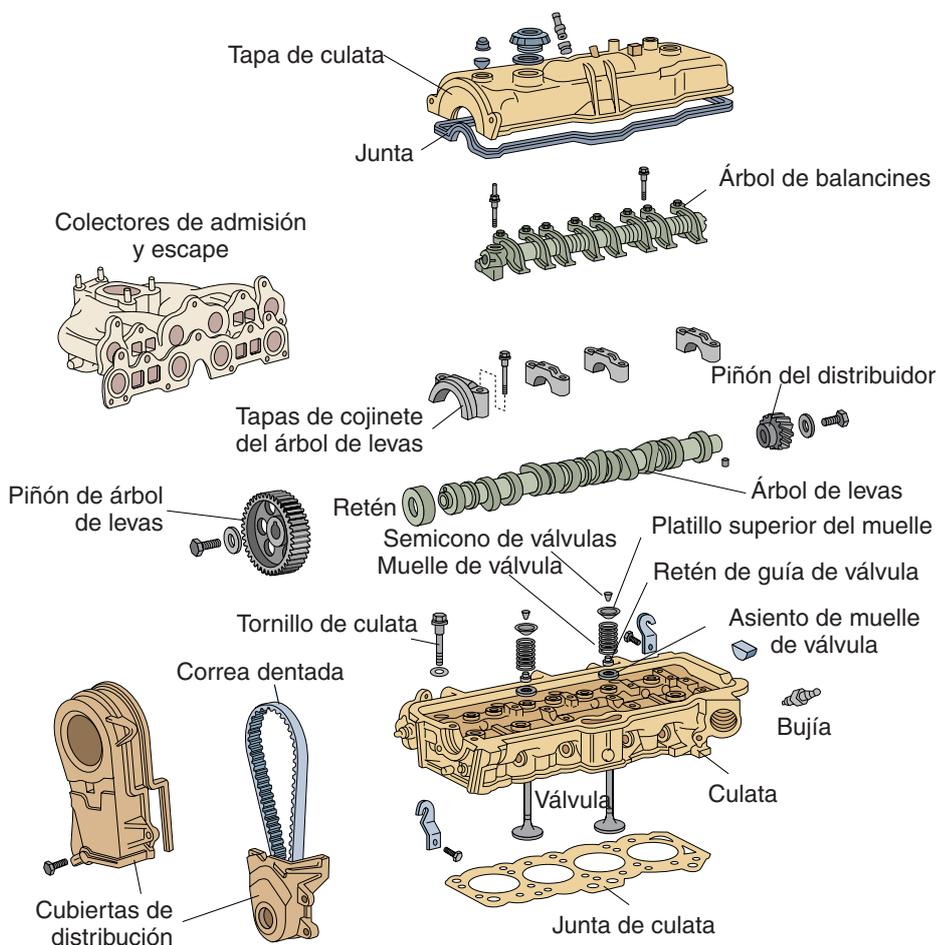
Posteriormente se monta el grupo motopropulsor sobre el soporte giratorio, buscando sobre el motor los puntos de anclaje adecuados que soporten su peso. Una vez instalado en el soporte, se desmontará:

- El motor de arranque y el alternador.
- La caja de velocidades y embrague.
- Los elementos de encendido.
- Los elementos de la inyección o carburador.
- Además, se deberá vaciar el aceite del motor.

3. Desmontaje de la culata y sus componentes

Causas más frecuentes por las que es necesario desmontar la culata:

- Para reparar la culata o alguno de sus componentes, como válvulas, guías, asientos o plano de culata.
- Por deterioro de la junta de culata.
- Por averías en otros componentes que impliquen el desmontaje de la culata, como el bloque, pistones, etc.

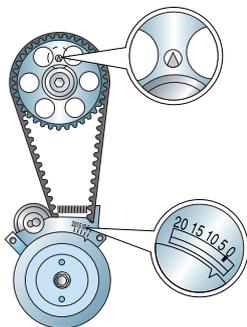


↑ Figura 7.7. Componentes de la culata.

3.1. Precauciones para el desmontaje de la culata

- Consultar el manual del motor donde se indica el procedimiento más adecuado.
- Aflojar los tornillos de la culata solamente cuando la culata esté fría para evitar deformaciones.
- Seguir el orden indicado en el manual, tanto para aflojar como para apretar los tornillos de la culata. Si no se conoce el orden, hacerlo en espiral desde los extremos hacia el centro para aflojar y en sentido contrario para apretar.

- Separar la culata hacia arriba, excepto cuando se trate de un bloque con camisas húmedas; en este caso se despegará haciéndola girar sobre uno de los tornillos.
- Nunca se deberán introducir destornilladores u otros objetos entre la culata y el bloque para apalancar.
- Una vez desmontada la cadena o correa de distribución, no girar el cigüeñal para evitar que los pistones golpeen contra las válvulas.
- Limpiar y marcar la posición de las piezas con vistas a su posterior montaje. Las piezas se marcarán en superficies que no estén mecanizadas y nunca se usarán métodos que puedan dañar la pieza, como golpes de granete.

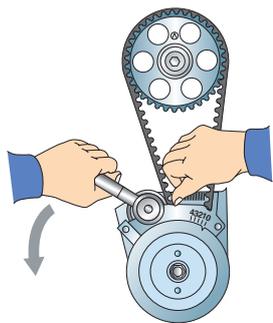


↑ **Figura 7.8.** Marcas de distribución confrontadas.

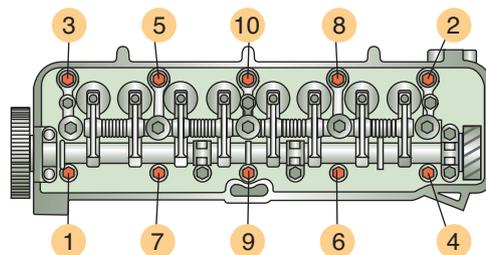
3.2. Proceso de desmontaje

A continuación se describe el desmontaje de una culata con distribución OHC (árbol de levas en culata) y transmisión por correa dentada, por ser este un sistema muy utilizado actualmente.

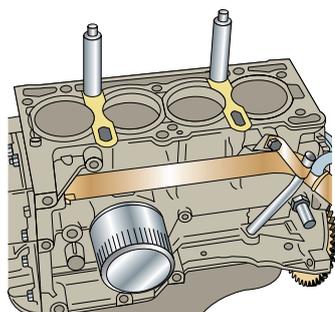
- Desmontar la cubierta de la distribución.
- Hacer coincidir las marcas de distribución (figura 7.8).
- Aflojar el tensor (figura 7.9) y retirar la correa de la rueda dentada del árbol de levas.
- Desmontar la tapa de la culata y retirar la junta.



↑ **Figura 7.9.** Procedimiento para aflojar el tensor.



↑ **Figura 7.10.** Orden para aflojar los tornillos de la culata.



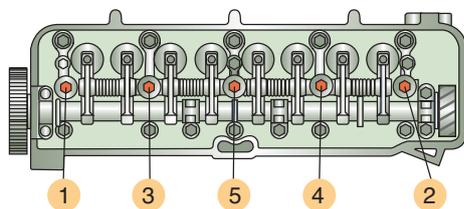
↑ **Figura 7.11.** Inmovilización de las camisas mediante bridas.

Extracción de la culata

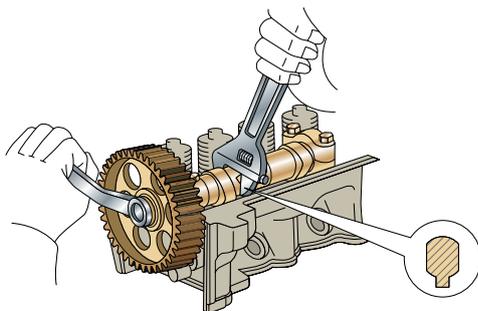
- Aflojar los tornillos de la culata en orden inverso al de apriete indicado por el fabricante (figura 7.10). Primero se aflojarán todos media vuelta y después, en una segunda ronda se extraerán.
- Para despegar la culata, se golpeará lateralmente con un mazo de plástico. Algunas culatas quedan posicionadas sobre el bloque mediante casquillos centreadores, en este caso, se despegarán siempre hacia arriba.
- En los motores con camisas húmedas se extraerán todos los tornillos menos uno situado en un extremo, después se golpeará en el extremo contrario interponiendo una cala de madera hasta hacer girar la culata sobre el tornillo. Este sistema evita que las camisas se muevan de su posición al estar pegadas a la culata. Una vez desmontada la culata, colocar unas bridas para sujetar las camisas (figura 7.11).
- Extraer la culata y colocarla en el banco de trabajo.

Desarmado de la culata

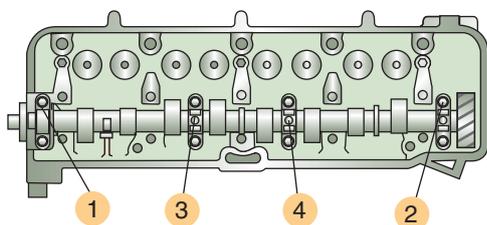
- Desmontar los colectores de admisión y escape y retirar sus juntas.
- Para desarmar el eje de balancines, se aflojarán los tornillos de fijación en el orden previsto hasta descargar la fuerza de los muelles de válvula (figura 7.12), a continuación se extraerá el eje con los balancines.
- La rueda dentada se desmontará inmovilizando el árbol de levas con el útil adecuado (figura 7.13) para poder aflojar el tornillo de fijación y extraerla. Después se recogerá la chaveta.
- Para desmontar las tapas de cojinete del árbol de levas se aflojarán los tornillos en el orden que indique el fabricante, evitando que el árbol sufra deformaciones (figura 7.14).
- Extraer el retén y las tapas de cojinetes, marcar su número y anotar la posición de montaje (figura 7.15).



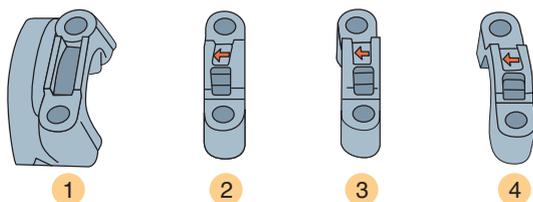
↑ **Figura 7.12.** Orden para aflojar el árbol de balancines.



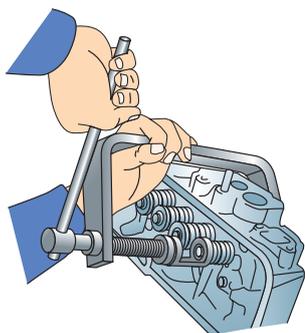
↑ **Figura 7.13.** Extracción del tornillo de la rueda dentada.



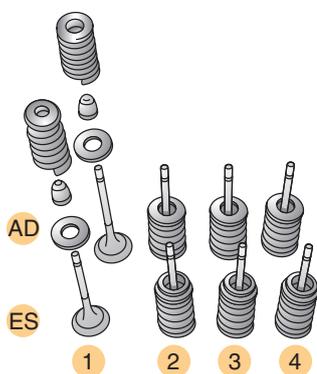
↑ **Figura 7.14.** Orden para aflojar el árbol de levas.



↑ **Figura 7.15.** Posición de montaje de las tapas de cojinete.



↑ Figura 7.16. Extracción de válvulas.



↑ Figura 7.17. Conjuntos de muelles y válvulas.

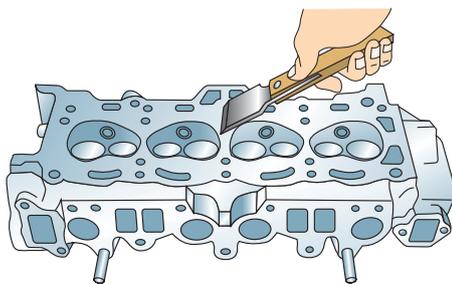
caso práctico inicial

La limpieza del plano de la junta es imprescindible para proceder a su verificación y para que cuando sea montada, tenga un asiento perfecto con el bloque motor.

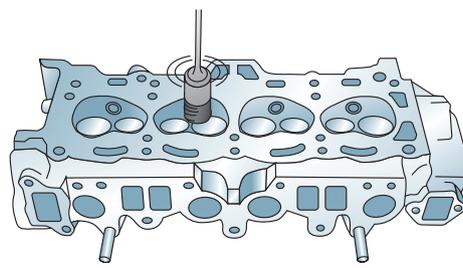
seguridad

Ojo, cuando utilizemos productos de limpieza tales como disolventes, sosa, decapantes etc. al igual que los cepillos de púas, será imprescindible la utilización de guantes protectores y gafas para evitar salpicaduras a los ojos.

- Extraer el árbol de levas.
- En caso de que el sistema de apertura de válvulas se haga a través de empujadores accionados directamente por el árbol de levas, sacar los empujadores de válvulas con una ventosa o alicates especiales y marcar su posición.
- Desmontar las válvulas. Con el útil desmontaválvulas adecuado (figura 7.15), comprimir el muelle, retirar los semiconos y liberar la presión del muelle. Extraer el platillo superior, el muelle, el platillo inferior y la válvula.
- Sacar los retenes de aceite de las guías de válvula con unos útiles adecuados.
- Marcar y ordenar sobre un soporte los conjuntos de válvula, muelle y empujador para montarlos después en la misma posición (figura 7.17).
- Para limpiar la culata, en primer lugar se empleará un producto disolvente que elimine los restos de grasa. Los depósitos calcáreos de las cámaras de refrigeración se limpian con una solución de agua y sosa. Los restos de junta adheridos se limpian aplicando un decapante químico que después se eliminará raspando con una espátula (figura 7.18). Los depósitos de carbonilla de las cámaras de combustión se eliminan con un cepillo de púas de metal blando o de fibra, o bien con una escobilla acoplada a una taladradora portátil (figura 7.19). Se lavará y secará con aire a presión.
- No se raspará ni se frotará nunca con productos abrasivos ya que pueden dañar la superficie planificada de la culata.



↑ Figura 7.18. Limpieza de la culata.



↑ Figura 7.19. Limpieza de carbonilla en las cámaras.

4. Comprobación de la culata

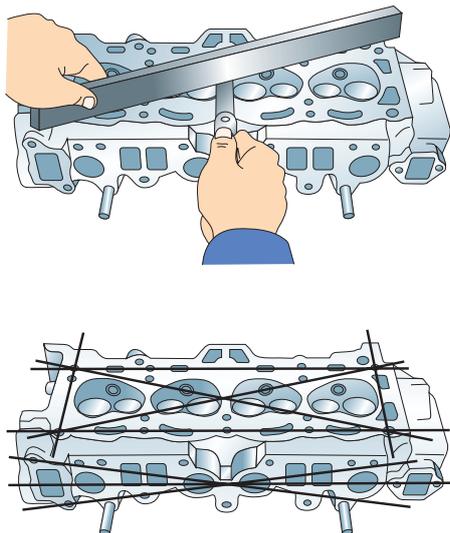
Para realizar la comprobación de la culata se deberá:

- **Controlar el buen estado de las roscas** de los espárragos, tornillos y taladros de la culata.
- **Comprobar el plano de junta de la culata.** Las altas temperaturas que soporta esta pieza pueden dar lugar a deformaciones que provocan la pérdida de estanqueidad en la unión de la culata y el bloque. La deformación máxima admitida es de 0,05 mm, si se sobrepasa esta medida, es necesario rectificar.

Se verificará con una regla de planitud y un juego de galgas de espesores (figura 7.20). Se comprobará de forma longitudinal, transversal y diagonal. El plano de la culata es correcto cuando en ningún caso se introduce la galga de 0,05 mm entre la culata y la regla.

La causa más común de deformación en la culata es el exceso de temperatura debido a fallos en el sistema de refrigeración.

- Verificar los planos de apoyo de los colectores de admisión y escape para que no superen una deformación máxima de 0,1 mm.



↑ **Figura 7.20.** Comprobación de la planitud en diversos sentidos.

5. Rectificado de la culata

Este trabajo se realiza en talleres especializados que cuentan con rectificadoras de precisión. La rectificadora para superficies planas consta de una bancada, donde se fija la culata, y de un cabezal, donde se acopla la herramienta. Una vez elegida la profundidad de corte, la herramienta se desplaza sobre la culata con un movimiento de rotación y otro de avance longitudinal.

Las culatas de hierro fundido se rectifican con muelas de abrasivo que están divididas en varios segmentos. Para las culatas de aleación de aluminio se usa una herramienta de corte de metal duro.

La cantidad de material a eliminar será la menor posible, nunca se debe sobrepasar la medida máxima permitida.

Existen culatas que, por sus características, no permiten el rectificado. En estos casos suelen admitirse tolerancias de hasta 0,1 mm de deformación, sobrepasada esta medida habría que sustituir la culata.

5.1. Consecuencias del rectificado

El rectificado disminuye el volumen de las cámaras de combustión y, por tanto, aumenta la relación de compresión. Esto hace que aumente la temperatura dentro de la cámara y crezca el riesgo de detonación.

Las juntas de culata para motores Diesel se suministran con varios espesores mayorizados que suplementan la medida del rectificado.

caso práctico inicial

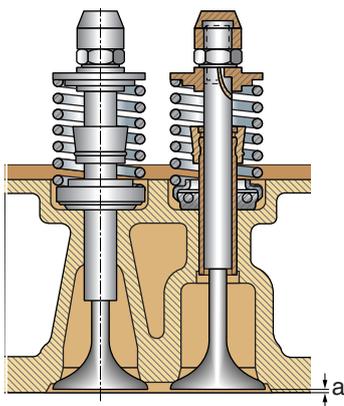
La culata del caso inicial tenía una deformación superior a 0,1 mm por lo que hubo que rectificarla.



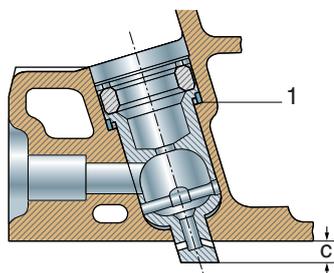
↑ **Figura 7.21.** Rectificadora de superficies planas.

caso práctico inicial

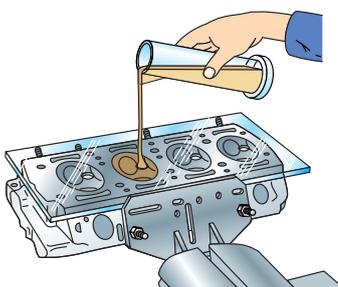
El taller de rectificados, cuando envió la culata reparada al concesionario la acompañó con la junta mayorada en función de la medida rectificada.



↑ **Figura 7.22.** Altura de las válvulas respecto al plano de culata.



↑ **Figura 7.23.** Regulación de altura de la antecámara.



↑ **Figura 7.24.** Medición del volumen de la cámara de combustión.

- Cuando las válvulas quedan a la altura del plano de la culata es necesario rebajar su asiento, en la misma medida que el rectificado, para restablecer su posición y evitar que lleguen a chocar con el pistón. Distancia a en la figura 7.22.
- En culatas para motores Diesel, que llevan insertadas las antecámaras, es necesario medir la distancia (c -figura 7.23), después de rectificar. Si la medida no fuera correcta, se variará el espesor de las arandelas (1-figura 7.23) hasta conseguirlo.
- Medir la altura de la culata en varios puntos utilizando un calibre y comprobar que el resultado está dentro de lo especificado en los datos técnicos.
- Comprobar el paralelismo longitudinal, midiendo la altura de la culata en ambos extremos. La falta de paralelismo no debe ser mayor de 0,1 mm.

5.2. Medición del volumen de la cámara de combustión

Para medir el volumen de la cámara de combustión se deben montar las válvulas y la bujía y colocar la culata con las cámaras hacia arriba, en una posición perfectamente horizontal (figura 7.24). A continuación, se coloca encima un cristal o plástico transparente que tenga un orificio por cada cámara; para que quede adherido se unta un poco de grasa consistente. Posteriormente, se llena una probeta graduada con aceite muy fluido (se puede utilizar líquido de frenos) hasta una medida determinada y se vierte el líquido en la cámara a través del orificio hasta que no queden burbujas de aire. El volumen de la cámara será la diferencia de nivel leída en la probeta antes y después de la operación.

- Tolerancia en el volumen: $\pm 0,6 \text{ cm}^3$.

Será necesario medir todas las cámaras y comparar sus volúmenes.

- Diferencia máxima entre cámaras: 1 cm^3 .

El volumen así medido sirve para detectar variaciones o diferencias de volumen entre las diferentes cámaras. Sin embargo, en la mayoría de los casos, este dato no será válido para calcular la relación de compresión, puesto que no se tiene en cuenta la parte de la cámara que queda en el bloque.

5.3. Cálculo del volumen de la cámara de combustión

El volumen de la cámara (V_c) se puede calcular conociendo la relación de compresión (R_c) y la cilindrada unitaria (V_u).

Partiendo de la expresión:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$

$$R_c = \frac{V_u}{V_c} + \frac{V_c}{V_c} = \frac{V_u}{V_c} + 1; \quad R_c - 1 = \frac{V_u}{V_c}$$

$$V_c = \frac{V_u}{R_c - 1}$$

TOLERANCIA DE MEDIDAS EN LAS COMPROBACIONES

Comprobaciones	Valores máximos
Plano de junta de culata	0,05 mm
Plano de apoyo de colectores	0,1 mm
En caso de rectificado:	
Paralelismo longitudinal	0,1 mm
Diferencia de volumen entre cámaras	1 cm ³
Tolerancia de volumen	±0,6 cm ³

Estos valores son orientativos y se aplicarán solo cuando se desconozcan los datos técnicos del fabricante.

EJEMPLO

Un motor tiene un diámetro de cilindro de 79,5 mm y una carrera de 80,5 mm. Su relación de compresión es de 9,7 a 1. Si se rectifica el plano de la culata a 0,2 mm, ¿cuál sería la nueva relación de compresión?

Solución:

Calculamos el volumen del cilindro en cm³:

$$V_u = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = \frac{3,14 \cdot 7,95^2 \cdot 8,05}{4} = 399,4 \text{ cm}^3$$

Hallamos el volumen de la cámara de combustión:

$$V_c = \frac{V_u}{R_c - 1} = \frac{399,4}{9,7 - 1} = 45,9 \text{ cm}^3$$

Suponiendo cilíndrica la forma de la porción de cámara rectificada, se puede calcular su volumen:

$$V_l = \frac{3,14 \cdot 7,95^2 \cdot 0,02}{4} = 1 \text{ cm}^3$$

$$V_c = 45,9 - 1 = 44,9 \text{ cm}^3$$

$$R_c = \frac{399,4 + 44,9}{44,9} = 9,9/1$$



ACTIVIDADES FINALES

- 1. Extrae el grupo motopropulsor:
 - Coloca el vehículo en un elevador de brazos o sobre caballetes.
 - Sigue el proceso de desmontaje recomendado en la documentación técnica.
 - Desmonta los elementos de unión del motor con la carrocería y la transmisión.
 - Extrae el grupo motopropulsor y colócalo sobre un soporte giratorio.

- 2. Desmonta la culata y desarma sus componentes:
 - Haz coincidir las marcas de distribución, afloja el tensor y retira la correa de la rueda dentada del árbol de levas.
 - Afloja los tornillos de la culata en orden inverso al de apriete y extrae la culata.
 - Desmonta los colectores de admisión y escape, el eje de balancines, el árbol de levas y las válvulas y los muelles.
 - Marca, limpia y ordena todas las piezas.

- 3. Comprueba la culata:
 - Controla el buen estado de las roscas y tornillos.
 - Controla la estanqueidad de las cámaras de refrigeración.
 - Comprueba el plano de junta de la culata.
 - Verifica los planos de apoyo de los colectores.

- 4. Rectifica el plano de culata. Si la falta de planitud excede a la medida indicada en los datos técnicos (0,05 mm), es necesario rectificar. La profundidad máxima de rectificado suele ser de 0,2 mm. Si no se dispone de medios, acudir a un taller especializado en rectificados. En algunos motores no está permitido el rectificado de la culata.

- 5. Mide el volumen de la cámara de combustión. Utiliza una probeta para medir el volumen de todas las cámaras de combustión. Diferencia máxima entre cámaras 1 cm³.

- 6. Calcula el volumen de la cámara de combustión. Consulta el manual del vehículo con el fin de obtener los datos necesarios para calcular el volumen de la cámara de combustión:

Volumen de la cámara (V_c); volumen unitario (V_u); relación de compresión (R_c).

$$V_c = \frac{V_u}{R_c - 1}$$

- 7. Cita las principales precauciones que han de tenerse en cuenta en el desmontaje de la culata.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Cómo se pueden limpiar los restos de junta adheridos en una culata?

- a) Con un cepillo de púas de acero.
- b) Con una lija.
- c) Aplicando un decapante y raspando suavemente con una espátula.
- d) Con una solución de agua y sosa.

2. La estanqueidad de las cámaras de refrigeración de la culata se verifica bombeando en su interior agua calentada a 90 °C, a una presión de 2 bar, a continuación se comprueba:

- a) Que no haya fugas por las válvulas.
- b) Que la temperatura no baje de 50 °C.
- c) Que las cámaras estén incomunicadas.
- d) Que no exista pérdida de presión.

3. ¿Cuál es, por término medio, el valor máximo de deformación del plano de culata?

- a) 0,05 mm.
- b) 0,15 mm.
- c) 0,005 mm.
- d) 0,5 mm.

4. ¿Qué elementos se utilizan para comprobar la planitud de la culata?

- a) Una regla y una galga de espesor.
- b) Un reloj comparador.
- c) Un calibre.
- d) Un micrómetro.

5. Cuando se rectifica una culata:

- a) Aumenta el volumen de la cámara de combustión.
- b) Aumenta la relación de compresión.
- c) Disminuye la relación de compresión.
- d) No influye en la relación de compresión.

6. ¿Cuál es el volumen de la cámara de combustión (V_c) en un motor de 4 cilindros con 1.600 cm³ y una relación de compresión (R_c) de 9:1?

- a) 32 cm³.
- b) 40 cm³.
- c) 50 cm³.
- d) 64 cm³.

7. En caso de que las válvulas queden en el plano de la culata, ¿qué se debe hacer cuando se rectifica?

- a) Rectificar los asientos de válvula en la misma medida que la culata.
- b) Rectificar las guías de válvulas.
- c) Cambiar los taqués por otros más largos.
- d) Sustituir el árbol de levas.

8. ¿Por qué motivo la culata puede llegar a perder su planitud?

- a) Por fallo en el circuito de engrase.
- b) Por efecto del autoencendido.
- c) Por diferencia de volumen entre las cámaras de combustión.
- d) Por exceso de temperatura.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Regla
- Galgas de espesores
- Llave dinamométrica

MATERIAL

- Motor sobre soporte
- Documentación técnica

Comprobación del plano de culata

OBJETIVO

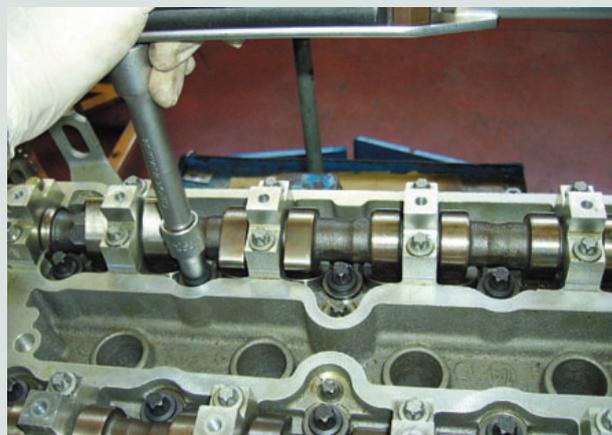
Desmontar y comprobar la deformación de la culata.

DESARROLLO

1. Se desmonta la cubierta de protección de la correa dentada y la tapa superior de la culata.
2. Se hacen coincidir las marcas de distribución, se afloja el rodillo tensor y se extrae la correa de la parte superior.
3. Se extraen los tornillos de fijación de los colectores de admisión y escape y se desmontan los colectores.
4. Se desmonta la rueda dentada del árbol de levas, se aflojan progresivamente y en orden correcto los tornillos de fijación de las tapas del árbol de levas y se extrae el árbol de levas.
5. Se aflojan los tornillos de culata en orden inverso al de apriete, primero 1/4 de vuelta y después se extraen. Se desmonta la culata y se limpia.
6. Se comprueba que la deformación del plano de culata sea menor a la indicada en los datos técnicos (0,05 a 0,1 mm). La operación se efectúa con una regla y un calibre de espesores, se comprueba en diferentes direcciones hasta cubrir toda la superficie.
7. En caso de superar la deformación máxima será necesario rectificar el plano de culata en un taller especializado, o bien sustituir la culata.
8. Se montan en la culata todos los elementos desmontados, se coloca una junta nueva y se posiciona sobre el motor.
9. Se aprietan los tornillos de culata en el orden indicado y al par correspondiente siguiendo el método recomendado en la documentación técnica.
10. Montar el resto de los elementos en orden inverso al desmontaje.



↑ Figura 7.25. Comprobación del plano de culata.



↑ Figura 7.26. Apriete de los tornillos de culata.

Reacondicionamiento de la culata

OBJETIVO

Realizar los trabajos necesarios para reparar una culata: planificado, sustitución de guías y rectificado de asientos.

DESARROLLO

1. Rectificado de la culata.

Comprobar la superficie de la culata con una regla y una galga calibrada, si la deformación es superior a 0,05 mm es necesario rectificar. La profundidad del rectificado será la menor posible sin sobrepasar el máximo permitido.

2. Rectificado de los asientos de válvulas en la culata.

Rebajar los asientos de las válvulas en la misma medida que el rectificado, de forma que la cabeza de las válvulas conserven su altura respecto al plano de culata. Comprobar esta altura con un reloj comparador y el útil adecuado.

Rectificar los asientos siempre que estén desgastados o hayan perdido la estanqueidad.

3. Sustitución de guías de válvula.

Medir la holgura entre la guía y la cola de la válvula. Sustituir las guías en caso de que la medida sea superior a la especificada en los datos técnicos.

Si las válvulas presentan desgastes en el vástago o en la zona del asiento, sustituir todo el conjunto de válvulas.

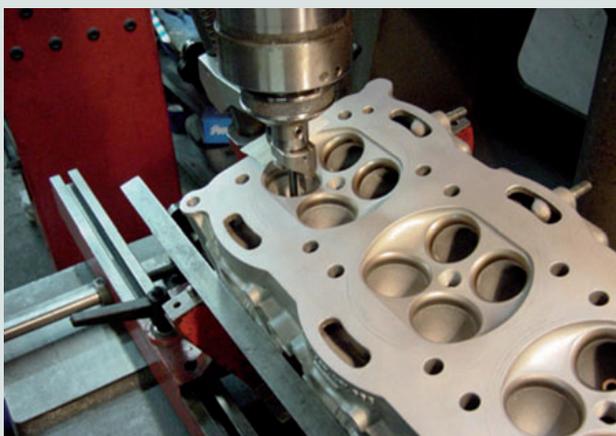
El rectificado de asientos se hará después de la sustitución de las guías ya que la rectificadora trabaja mediante un eje que se introduce en la guía, de esta forma la válvula quedará perfectamente centrada en su asiento.

HERRAMIENTAS

- Rectificadora de superficies
- Rectificadora de asientos
- Utillaje para sustitución de guías.
- Aparatos de medida



↑ Figura 7.27.



↑ Figura 7.28.



↑ Figura 7.29.

MUNDO TÉCNICO

Fallos en la junta de culata

Uno de los mayores desafíos para los fabricantes es diseñar una junta de culata que cierre eficazmente la culata de aluminio al bloque de fundición. Las culatas de aluminio no pueden soportar el sobrecalentamiento. Es de extrema importancia no dejar que el motor se sobrecaliente. El exceso de temperatura es la causa número uno de averías de motor.

Síntomas comunes de una junta de culata en mal estado:

- Radiador o vaso de expansión espumeante, que produce burbujas.
- Acumulación rápida de presión en el sistema de refrigeración, antes de que el motor se haya calentado.

Otros síntomas de una junta de culata rota son, entre otros:

- Humo blanco por el tubo de escape, a veces intermitentemente.
- Agua en el aceite. Cuando se mezclan, el aceite obtiene una apariencia semejante a la del batido de chocolate.
- Aceite en el líquido refrigerante.
- El sistema de refrigeración no mantendrá la presión cuando sea presurizado estáticamente.

Para diagnosticar una junta de culata en mal estado se debe buscar cualquier combinación de estos síntomas.

Todo esto podría significar que hay una junta agrietada o no estanca por falta de planitud en la superficie de la culata. En cualquier caso, la culata debe ser extraída y la junta reemplazada. Al mismo tiempo, se comprueba que ambas superficies en contacto sean planas, si es necesario se rectifican las superficies.

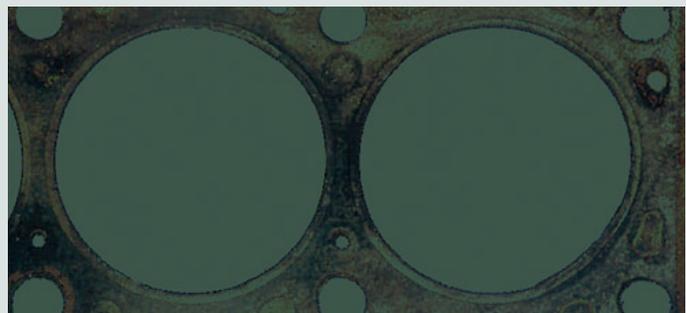
Fuente: AJUSA



Rotura de arillos de cilindros

Causas:

- Falta de apriete o reapriete
- Planitud incorrecta de culata y/o bloque
- Funcionamiento incorrecto sistema refrigeración
- Combustión incorrecta



Junta quemada

Causas:

- Falta de apriete o reapriete
- Planitud incorrecta de culata y/o bloque
- Funcionamiento incorrecto sistema refrigeración
- Combustión incorrecta

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.mecanicavirtual.org/rectificado-motores.pdf>
- <http://www.todomotores.cl/competicion/cubicacion.htm>
- <http://www.km77.com/marcas/mercedes/2005/motores/320cdi/t01.asp>
- <http://www.reycomotor.com/Reyco/Dana/Guide1.htm>
- <http://www.mecanicavirtual.org/diagnosis-humos-motor.htm>
- <http://www.illinois-sa.com.ar/--catalogo/paso-a-paso.pdf>
- <http://www.reycomotor.com/Reyco/Ksmotor/Tcyl1.htm>

8

El sistema de distribución

vamos a conocer...

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

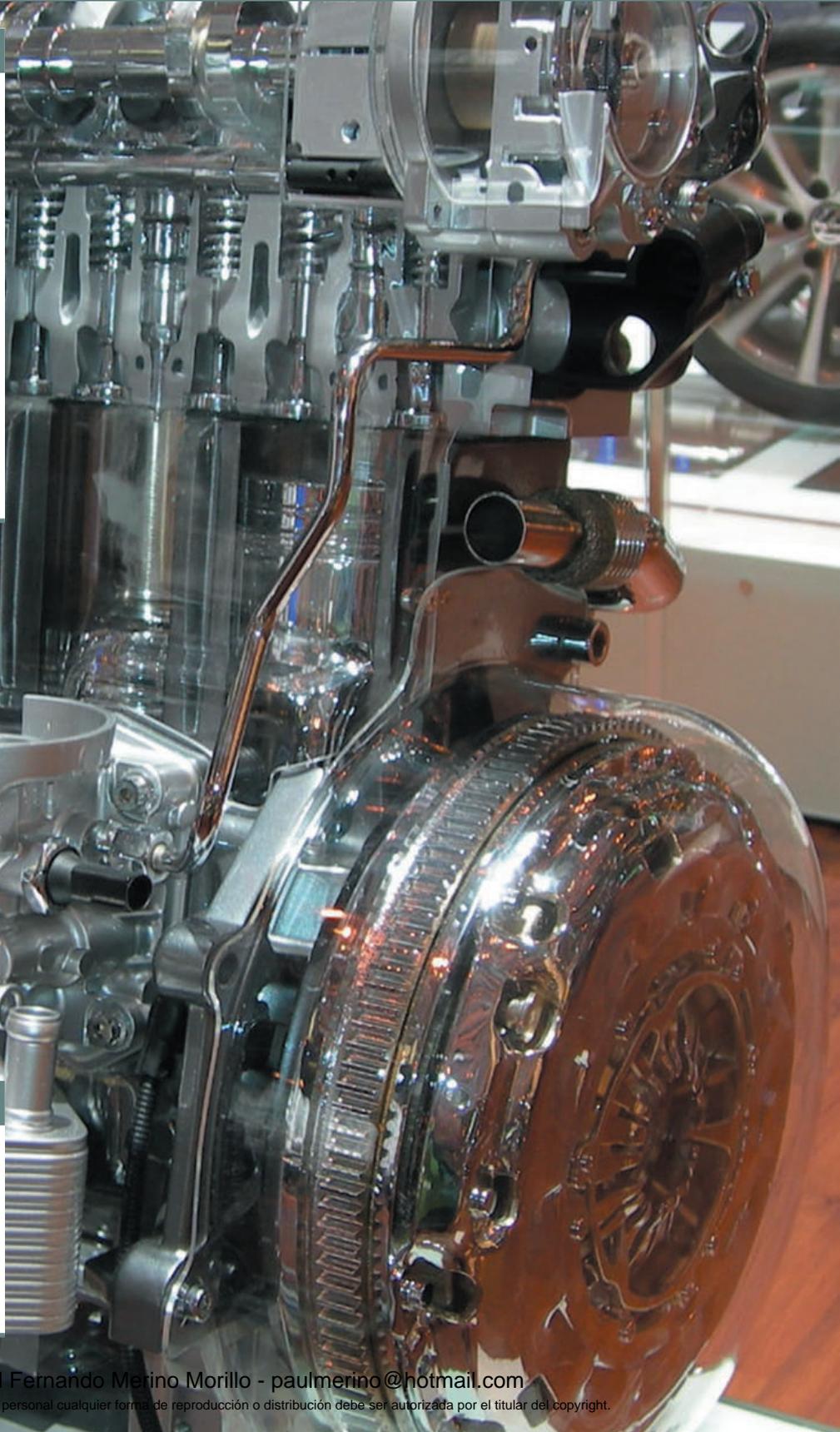
PRÁCTICA PROFESIONAL

Identificar el tipo de distribución en diferentes motores

Determinar el diagrama de distribución del motor

MUNDO TÉCNICO

Consideraciones, preguntas y respuestas sobre los motores multiválvulas



y al finalizar esta unidad...

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

situación de partida

Julián, coleccionista y amante de los coches clásicos, acude al taller de su confianza para comentar un ruido que le ha surgido a uno de sus clásicos, concretamente a un RENAULT 5 ALPINE, comenta que le suena algo por el lado de la distribución, pero solo cuando el motor está a ralentí ya que cuando se le incrementa el número de revoluciones el ruido se elimina.

José María, jefe de taller y buen conocedor de casi todo tipo de motores, le adelanta a Julián que por lo que le comenta, lo normal es que sea un problema de la cadena de la distribución o bien del tensor. Este vehículo monta un sistema de distribución mediante cadena de rodillos, con tensor hidráulico dado que es un sistema que aloja su árbol de levas en el lateral del bloque (OHV), y que utiliza varillas empujadoras para transmitir el movimiento desde el árbol de levas al balancín con interposición del taque, además le comenta que la reparación en ese motor es laboriosa en cuanto a tiempo de mano de obra ya que, debido a la disposición que mon-

ta el motor, hay que extraerlo para poder acceder a la distribución, y sustituir los elementos defectuosos del conjunto.

En la actualidad, continúa Jose María, el montaje de los elementos de distribución es totalmente diferente, puesto que en la mayoría de los motores los árboles de levas se montan en la culata (OHC y DOHC) y la mayoría son arrastrados por correas dentadas, que tienen un funcionamiento muy silencioso y es relativamente económica su sustitución, con el inconveniente que su duración es limitada. Concluye informándole que aunque es un sistema de los más usados actualmente, uno de sus vehículos de los años setenta ya lo llevaba montado, concretamente un 124 Spider Abarth.

José María desmonta el motor y se confirma su diagnóstico, la cadena de distribución estaba estirada, y produce un ruido al golpear con la tapa que cierra el conjunto.

Finalmente, tras sustituir los elementos defectuosos, el motor volvió a funcionar perfectamente.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cómo definirías el sistema de la distribución?
2. ¿Sabes qué es un árbol de levas?
3. ¿Por qué crees que el ruido se eliminaba cuando el motor subía de revoluciones?
4. ¿Cómo crees que está este motor dispuesto en su compartimento, para que dificulte tanto el acceso a la distribución?
5. ¿Qué elementos crees que tuvieron que ser sustituidos?

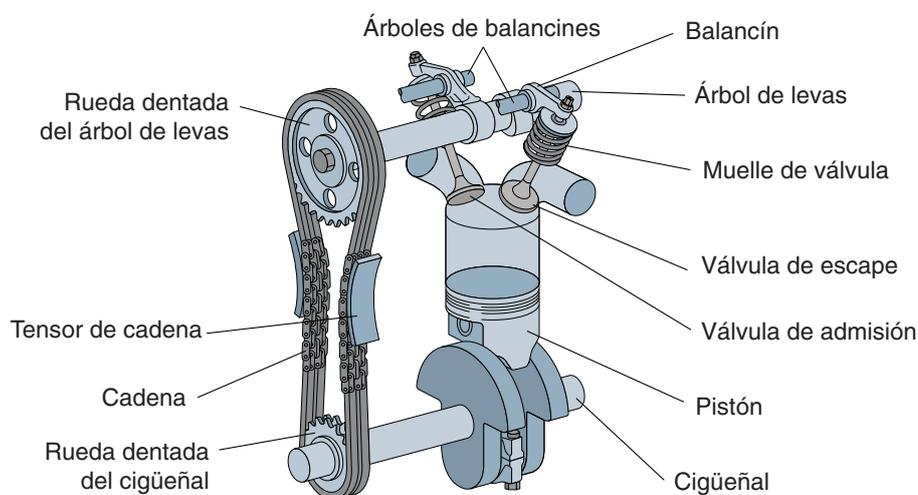
1. El sistema de distribución

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

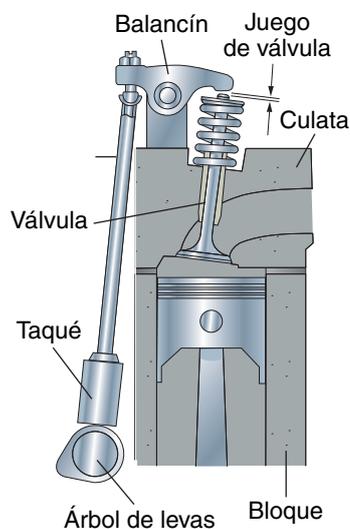
Los elementos que componen el sistema de distribución son (figura 8.1):

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

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



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



↑ **Figura 8.2.** Sistema OHV.

2. Disposiciones de la distribución

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

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

2.1. Sistema OHV

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

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

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

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

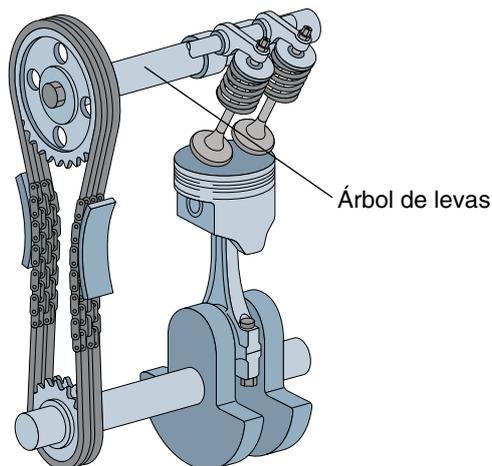
Este sistema tiene la ventaja de que los piñones del cigüeñal y el árbol de levas quedan próximos. Esto facilita el accionamiento del árbol de levas que puede hacerse con una cadena de pequeñas dimensiones o mediante engranajes.

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

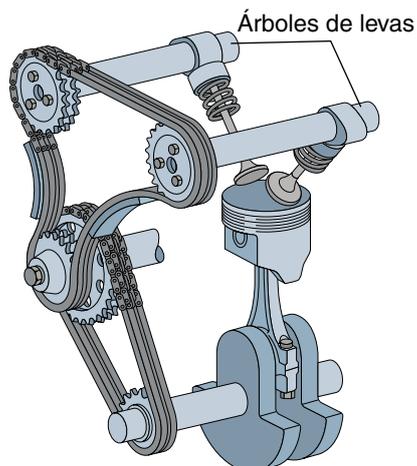
2.2. Sistema OHC y DOHC

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

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



↑ Figura 8.3. Sistema OHC.



↑ Figura 8.4. Sistema DOHC.

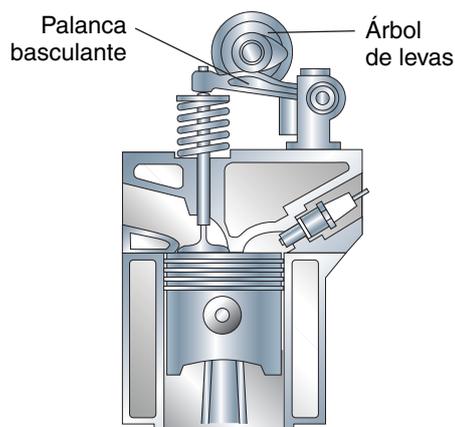
Estas disposiciones presentan claras ventajas respecto al sistema OHV. El accionamiento de las válvulas es más directo, por lo que se reducen los efectos de inercia. De esta forma se pueden alcanzar un número de revoluciones más alto sin que quede afectado el diagrama de la distribución. Las consecuencias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

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

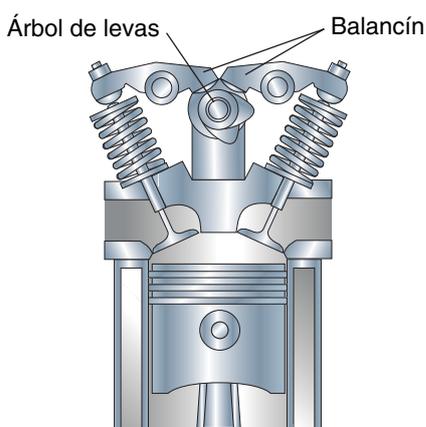
Existen diferentes posibilidades para realizar el accionamiento de las válvulas: sistema OHC y sistema DOHC.

caso práctico inicial

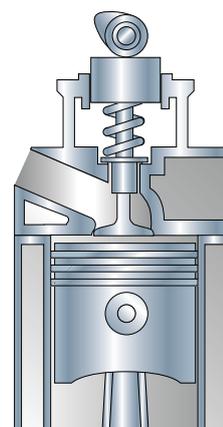
En el caso inicial, el Fiat 124 Spider Abarth monta un sistema DOHC.



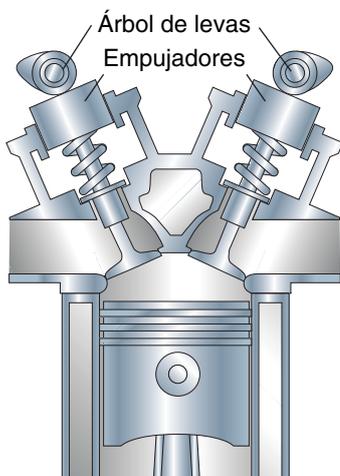
↑ **Figura 8.5.** Válvulas en línea y palanca basculante.



↑ **Figura 8.6.** Válvulas en ángulo y balancines.



↑ **Figura 8.7.** Accionamiento directo de las válvulas.



↑ **Figura 8.8.** Doble árbol de levas.

Sistema OHC

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

Sistema DOHC

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

3. Mando de la distribución

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

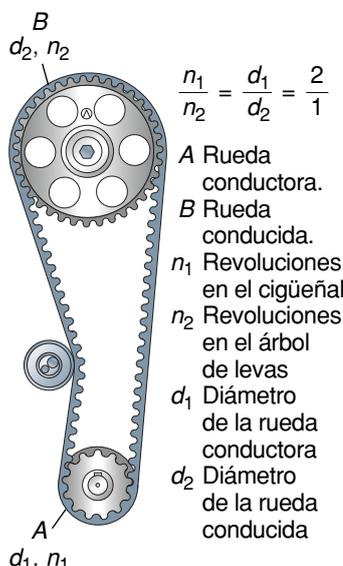
Los cuatro tiempos se realizan en dos vueltas de cigüeñal, sin embargo las válvulas de admisión y escape son accionadas una sola vez durante estas dos vueltas (en los tiempos de compresión y expansión las válvulas permanecen cerradas), por tanto el árbol de levas ha de girar a la mitad de revoluciones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

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

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

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

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



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

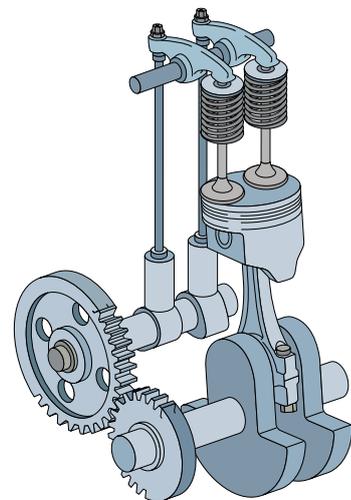
3.1. Accionamiento por ruedas dentadas

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

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

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

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



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

3.2. Accionamiento por cadena de rodillos

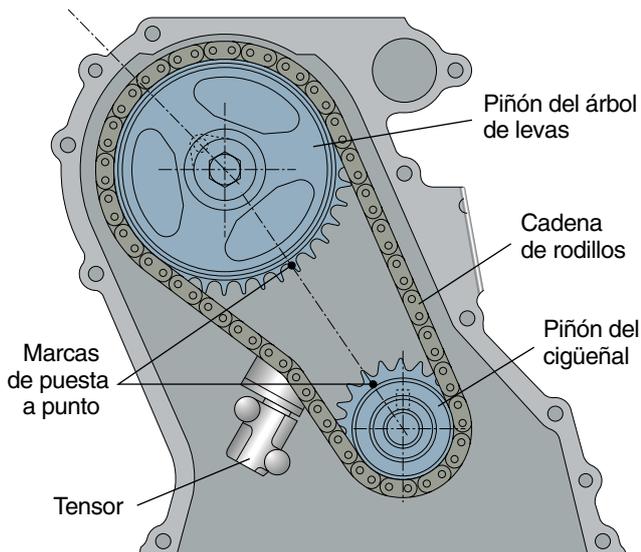
Este sistema puede utilizarse para cualquier distancia entre el cigüeñal y el árbol de levas, vaya este montado en el bloque (figura 8.11) o sobre la culata (figura 8.12).

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

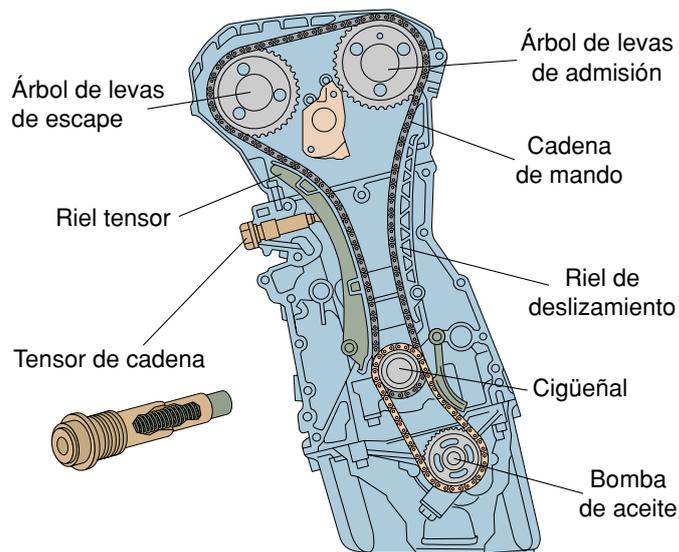
La cadena es un sistema de transmisión robusto y de larga duración, pero tiene el inconveniente de que con el tiempo, y debido al desgaste, se alarga, produciendo un desfase en la distribución y un aumento en el nivel de ruido. Estos inconvenientes son más apreciables cuanto más larga sea la cadena.

caso práctico inicial

En motores con muchos kilómetros, la cadena y el tensor se sustituyen cuando producen ruido como en el caso del Renault 5 Alpine.



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

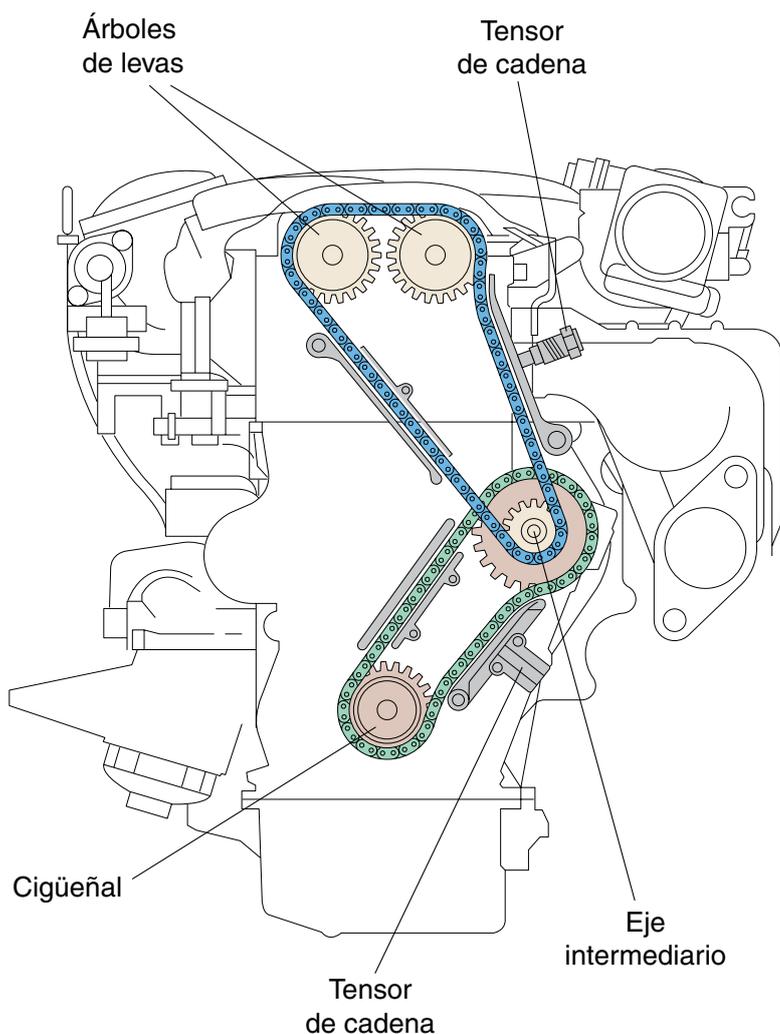


↑ **Figura 8.12.** Accionamiento por cadena de rodillos (OHC).

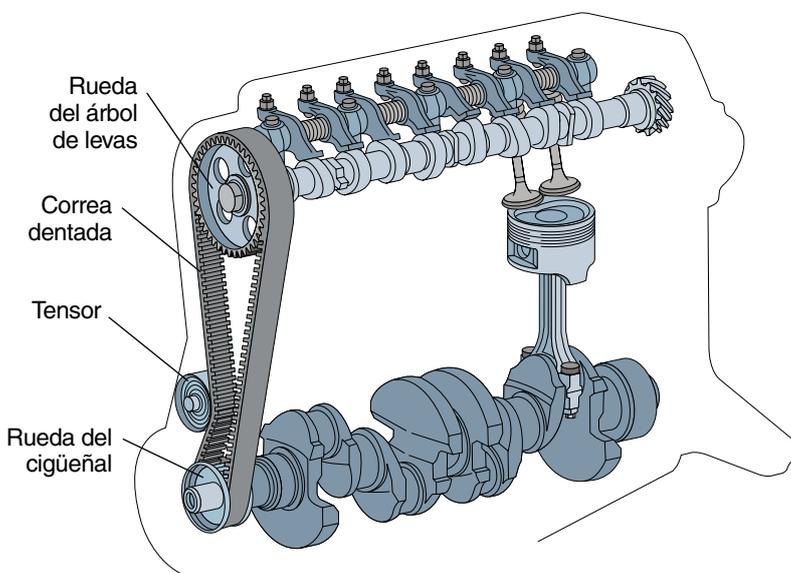
Tensor de cadena

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

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



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



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

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

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

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

Cárter de distribución

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

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

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

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

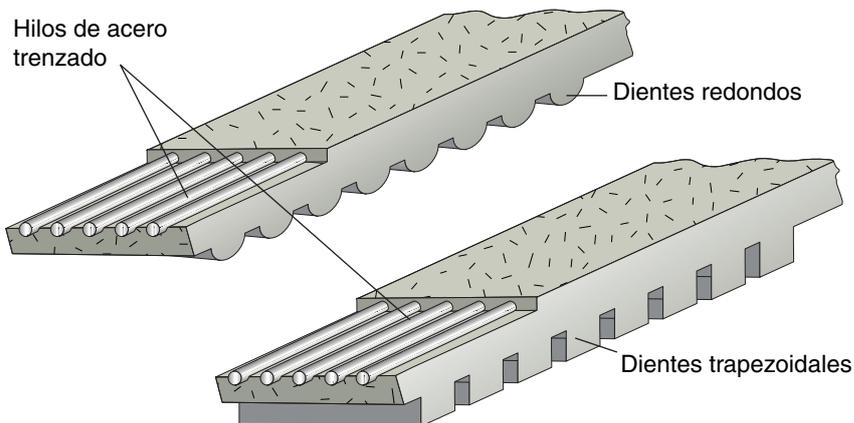
3.3. Accionamiento por correa dentada

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

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

La correa dentada

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



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

Sus principales ventajas son:

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

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

La correa dentada va provista de un tensor cuya correcta regulación es de gran importancia en este sistema. La correcta regulación se consigue siguiendo el procedimiento recomendado en cada caso.

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

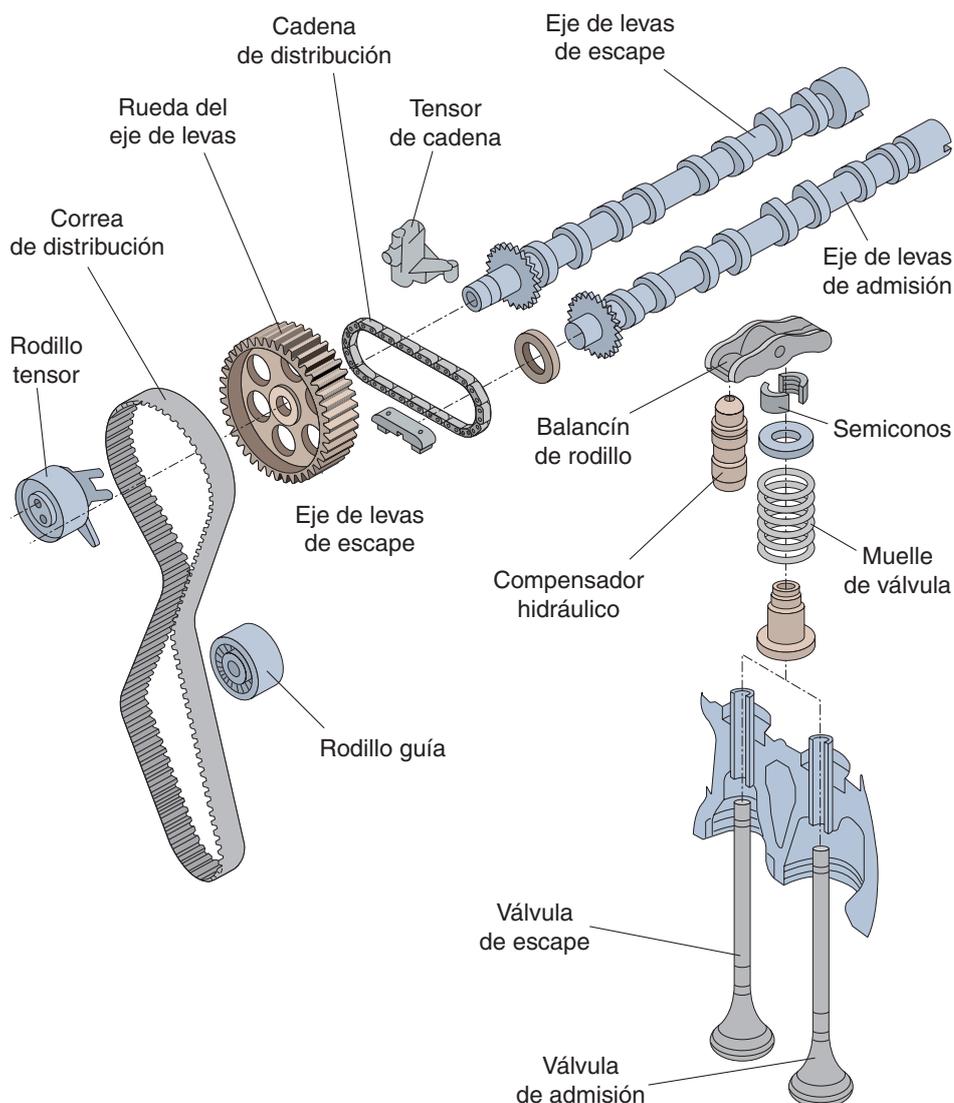
El **montaje del árbol de levas sobre la culata** es actualmente una práctica general en motores para turismos, tanto de gasolina como Diesel. Por otro lado, el método de transmisión más usado en la distribución es el de correa dentada por las ventajas que ofrece en cuanto a economía y ausencia de ruidos.

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

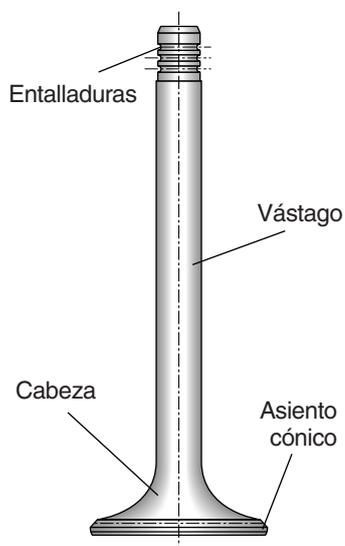
En algunos sistemas **DOHC** se combinan las ventajas de los dos tipos de accionamiento (figura 8.16), utilizando una correa dentada para la transmisión del cigüeñal al árbol de levas de escape y, de este al árbol de admisión, se hace mediante una cadena de rodillos provista de un tensor.

caso práctico inicial

En las primeras correas dentadas, su cambio era recomendado con un número de kilómetros reducido, concretamente la del Fiat 124 Spider Abarth el fabricante recomendaba su cambio cada 50.000 o 60.000 km. de funcionamiento.



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



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

4. Válvulas

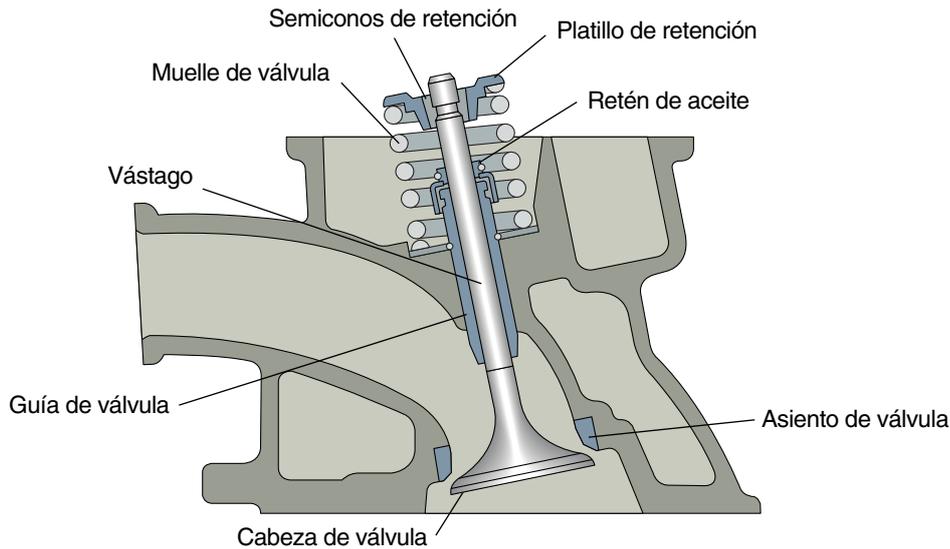
Las válvulas son los elementos que abren los conductos de admisión y escape en sus tiempos correspondientes, y se mantienen cerradas durante los tiempos de compresión y expansión logrando un cierre hermético.

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

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

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

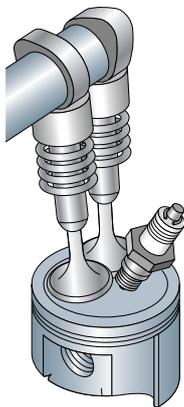
En la figura (8.18) puede verse el montaje de una válvula en su alojamiento. Esta queda fijada por medio de los semiconos o chavetas y el platillo de retención del muelle que, al quedar comprimido, obliga a la válvula a hacer presión contra su asiento.



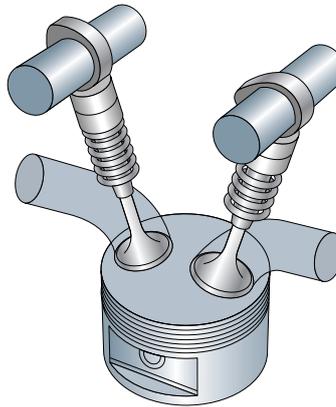
↑ **Figura 8.18.** Válvula montada en su alojamiento.

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

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



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



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

4.1. Condiciones de funcionamiento de las válvulas

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

La válvula de admisión a pesar de ser refrigerada por los gases frescos de la admisión puede llegar a superar los 400 °C. La válvula de escape queda expuesta al paso

de los gases calientes de la combustión y puede alcanzar temperaturas de hasta 800 °C, que debe soportar sin sufrir modificaciones en su estructura.

El problema más importante que se presenta en las válvulas de escape es su refrigeración. El calor es evacuado en su mayor parte a través del asiento en la culata cuando la válvula está cerrada y, entre un 25 % y un 30 %, lo hace por el vástago a través de la guía.

La cabeza de las válvulas, además de soportar altas temperaturas y un continuo golpeteo en su asiento, están expuestas a la corrosión producida por los efectos químicos de la combustión. El desgaste continuado de los asientos provoca fugas en la compresión que disminuyen el rendimiento del motor.

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

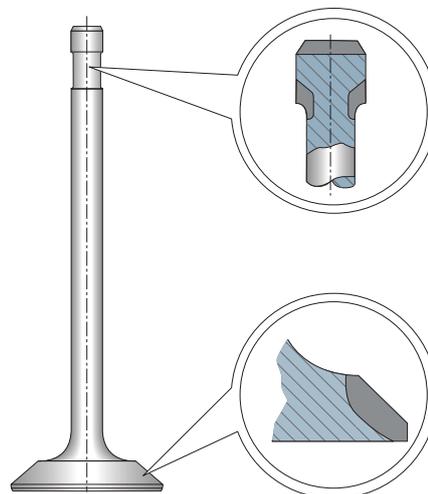
4.2. Fabricación de las válvulas

Válvulas monometálicas

Se fabrican en un solo material a partir de una pieza en bruto que se moldea por recalcado.

Este método consiste en calentar la zona a trabajar a una determinada temperatura para después darle forma por presión, sin arranque de viruta. Así se consigue que la estructura de la pieza original conserve sus cualidades. El material utilizado es acero al cromo – silicio.

La punta del vástago y el asiento cónico se someten a un tratamiento de templeado por inducción (figura 8.21). Las válvulas destinadas a soportar grandes esfuerzos se endurecen con un recubrimiento de estelita que las protege de elevadas temperaturas y corrosión química.



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

Válvulas bimetálicas

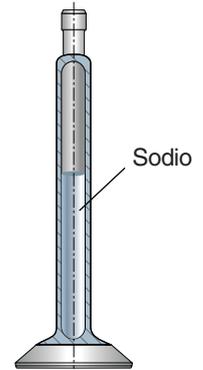
En estas válvulas se utilizan dos metales, uno con buenas propiedades deslizantes para el vástago y para la cabeza aleaciones de acero de alta calidad muy resistente a las altas temperaturas. El vástago y la cabeza se unen mediante soldadura de fricción.

Válvulas refrigeradas con sodio (figura 8.22)

En motores de alto rendimiento se montan para el escape válvulas refrigeradas con sodio. Este metal tiene un bajo punto de fusión ($97,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) y es muy buen conductor del calor.

Se construyen con el vástago hueco y se rellenan, hasta algo más de la mitad, con sodio. Al calentarse se funde y pasa a estado líquido; con el movimiento alternativo, el sodio se desplaza dentro de la válvula transmitiendo el calor de la cabeza hacia el vástago. Se consigue así rebajar en más de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de la cabeza de las válvulas de escape.

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



↑ Figura 8.22. Válvula de escape refrigerada con sodio.

4.3. Dimensiones de las válvulas

El diámetro de la válvula de admisión es entre un 20 y un 30 % mayor que el diámetro de la válvula de escape con el fin de mejorar el llenado del cilindro y, por consiguiente, el rendimiento volumétrico.

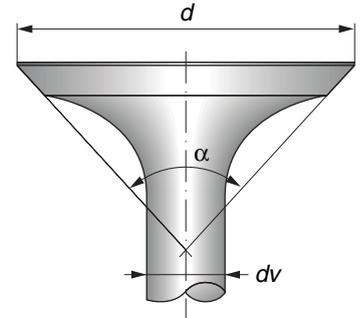
Debido al avance a la apertura del escape la válvula abre cuando el pistón está al final de su carrera de expansión, la presión que aún existe dentro del cilindro (de 3 a 4 bar) facilita el rápido vaciado de los gases quemados. Por esta razón puede ser menor el diámetro de la válvula de escape

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

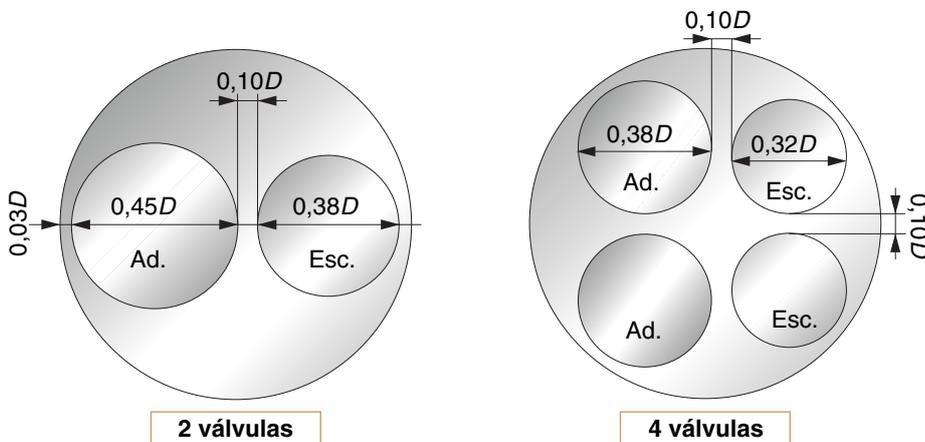
- El diámetro de la cabeza de la válvula.
- La alzada o el desplazamiento longitudinal de la válvula.
- El ángulo de asiento.
- El diámetro del vástago.

Diámetro de la cabeza

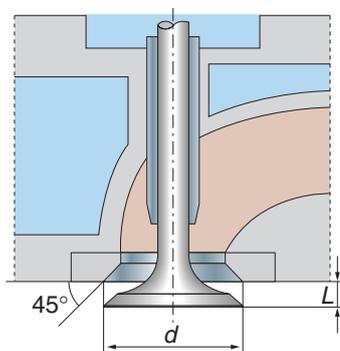
Se calcula en función del diámetro del cilindro, teniendo en cuenta el espacio disponible según la forma de la cámara de combustión (figura 8.24).



↑ Figura 8.23. Medidas de las válvulas.



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



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

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

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

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

Alzado de válvula

El desplazamiento de apertura de la válvula (L) (figura 8.25), también llamado alzado, se determina en función del diámetro de la cabeza (d). Ambas medidas dan lugar a la sección de paso, que es el área que queda descubierta entre la válvula y su asiento. $L/d = 0,25$ a $0,30$.

Sección de paso de los gases

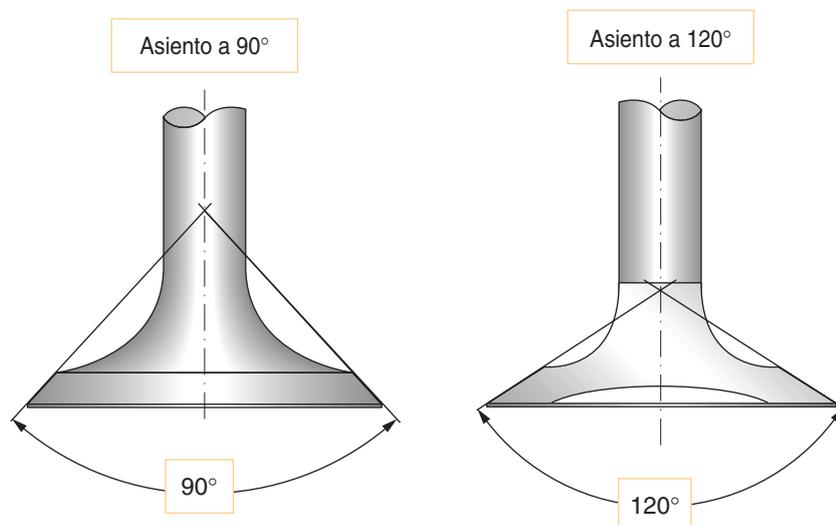
La sección por donde han de pasar los gases tiene que ofrecer la menor resistencia posible con el fin de mejorar la carga del cilindro.

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

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

Ángulo de asiento

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



↑ **Figura 8.26.** Ángulo de asiento de la válvula.

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

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

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

Diámetro del vástago

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

4.4. Guías de válvulas

La guía es la pieza sobre la que se desliza el vástago en su desplazamiento y centra la válvula en su asiento (figura 8.27). Generalmente es una pieza postiza insertada a presión en su alojamiento.

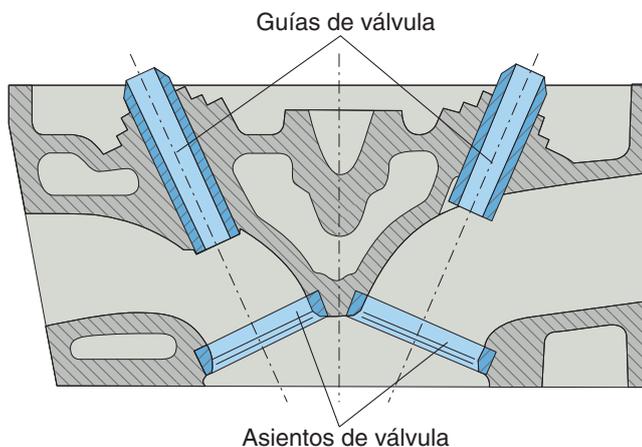
Se fabrica en fundición de hierro con aleación de fósforo y cromo, también en cobre con aleación de cinc y aluminio. Presenta gran resistencia al desgaste por fricción y buena conductividad térmica, ya que la guía es la encargada de transmitir una buena parte del calor de la válvula al circuito de refrigeración.

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

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



↑ Figura 8.27. Guías y asientos de válvulas.



↑ Figura 8.28. Guías y asientos de válvulas.

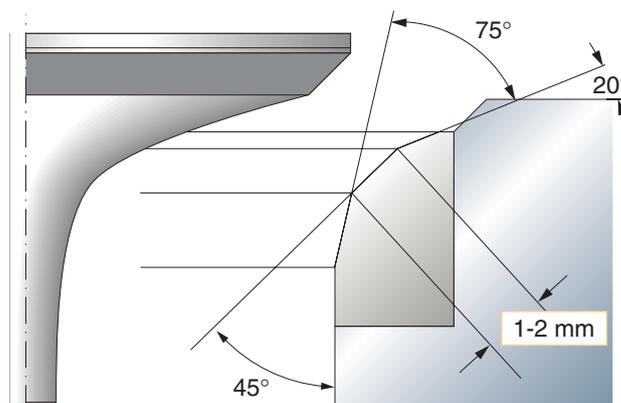
4.5. Asientos de válvulas

El asiento constituye el elemento sobre el que se apoya la cabeza de la válvula para hacer el cierre (figura 8.28). Debido a las duras condiciones en las que trabaja, en culatas de aluminio y en muchas de fundición, constituye una pieza postiza.

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

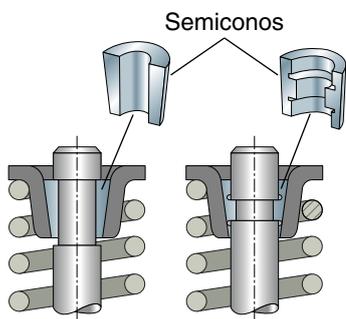
El asiento se monta con interferencia mediante un procedimiento consistente en calentar el alojamiento sobre la culata para dilatarlo y, por otra parte, enfriar el asiento para contraerlo. Una vez insertado, ambas piezas igualan sus temperaturas para quedar perfectamente ajustadas.

Generalmente el ángulo de asiento es el mismo que el de la válvula, y puede ser de 45° o de 60° . Se mecanizan además dos ángulos correctores (figura 8.29), uno de entrada de entre 20° y 30° , y otro de salida de 60° a 75° , que limitan el ancho del asiento entre 1 y 2 mm a la vez que suavizan el perfil del conducto de paso del gas.



↑ Figura 8.29. Ángulos en el asiento.

4.6. Muelles de válvulas



↑ Figura 8.30. Fijación en el muelle de válvula.

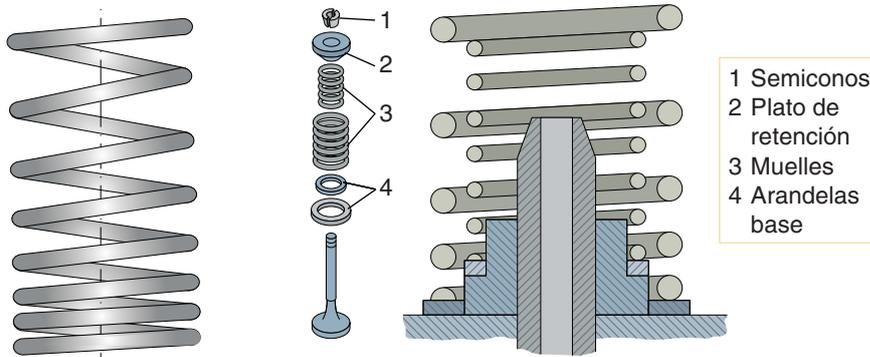
El muelle proporciona la fuerza necesaria para mantener cerrada la válvula. Se monta con una tensión previa que se transmite a la válvula a través del platillo de retención y los semiconos (figura 8.30).

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

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

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

Cuando los muelles trabajan con altas frecuencias de compresión y expansión pueden aparecer problemas debido a los efectos de inercia y a las vibraciones, para reducir estos efectos se emplean muelles asimétricos cuyo paso entre espiras no es uniforme (figura 8.30). En algunos casos se usan dos muelles concéntricos de diferentes características (figura 8.31).



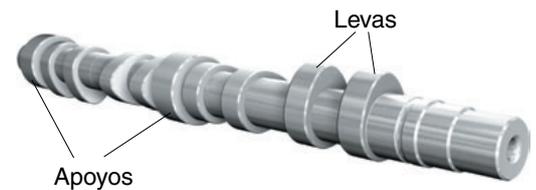
↑ **Figura 8.31.** Muelle asimétrico. ↑ **Figura 8.32.** Válvula con doble muelle.

5. Árbol de levas

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

5.1. Constitución

El árbol de levas está compuesto (figura 8.33) por tantas levas como válvulas tiene el motor, dispuestas de tal forma que realicen el movimiento de las válvulas según el diagrama de distribución. A lo largo del árbol se disponen los apoyos sobre los que gira, cuyo número varía en función del esfuerzo a transmitir. Cuando va instalado sobre culata de aluminio, el número de apoyos suele ser igual al de cilindros más uno.



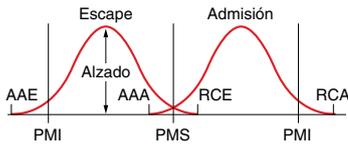
↑ **Figura 8.33.** Constitución del árbol de levas.

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

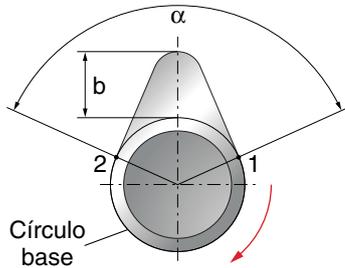
Posición sobre el motor

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

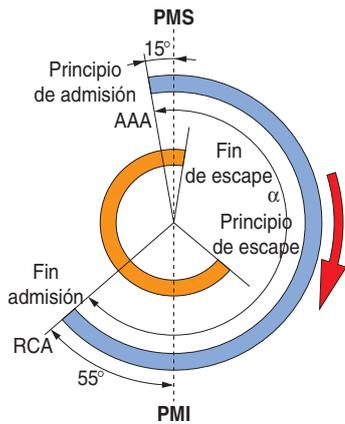
El árbol de levas gira apoyado sobre cojinetes de fricción o bien sobre taladros de apoyo practicados directamente sobre el material de la culata. Están lubricados por el circuito de engrase a través de los conductos por los que pasa el aceite a presión a cada uno de los apoyos. Para facilitar su desmontaje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



↑ **Figura 8.34.** Movimiento de las válvulas.



↑ **Figura 8.35.** Puntos de apertura y cierre de la leva.



↑ **Figura 8.36.** Diagrama de distribución.

5.2. Geometría de levas

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

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

Como puede verse en la figura 8.35, existe un tramo denominado círculo base, que corresponde a la válvula cerrada. A partir del punto (1) comienza la apertura, la válvula permanece abierta hasta el punto (2). En este recorrido angular (α), la leva desplaza una distancia (b) al elemento de empuje.

El movimiento de las válvulas se representa en la figura 8.34.

El punto (1) corresponde al avance de la apertura y el punto (2) al retraso del cierre de la válvula respecto a los puntos muertos superior e inferior, cuyo valor en grados de giro del cigüeñal viene determinado por el diagrama de la distribución (figura 8.36).

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

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

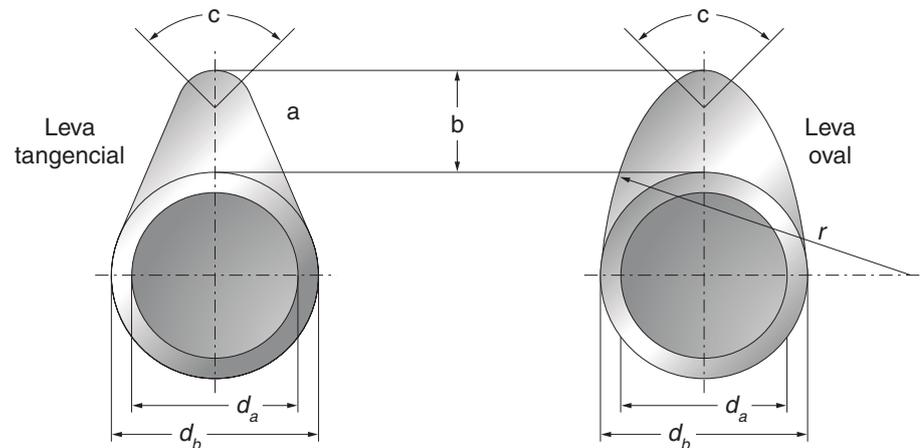
$250^\circ/2 = 125^\circ$ de giro del árbol de levas, ya que la relación de giro es de $1/2$.

Formas del perfil de la leva

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

Hay una gran variedad en el diseño de estos perfiles, pero pueden englobarse en dos tipos básicos (figura 8.37):

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

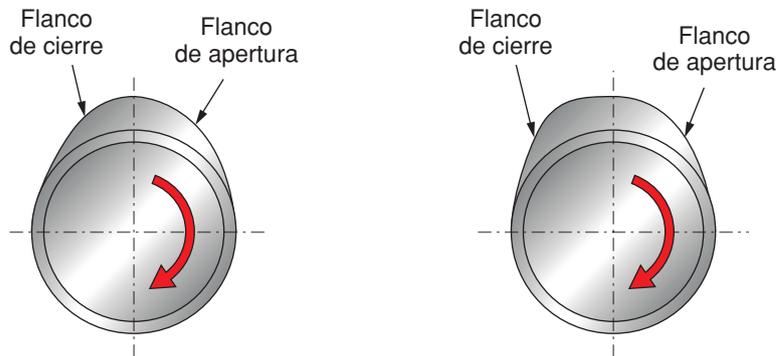


→ **Figura 8.37.** Perfiles de la leva.

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

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

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



↑ Figura 8.38. Levas con perfil asimétrico.

6. Elementos intermedios

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

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

6.1. Elementos de empuje

Taqués

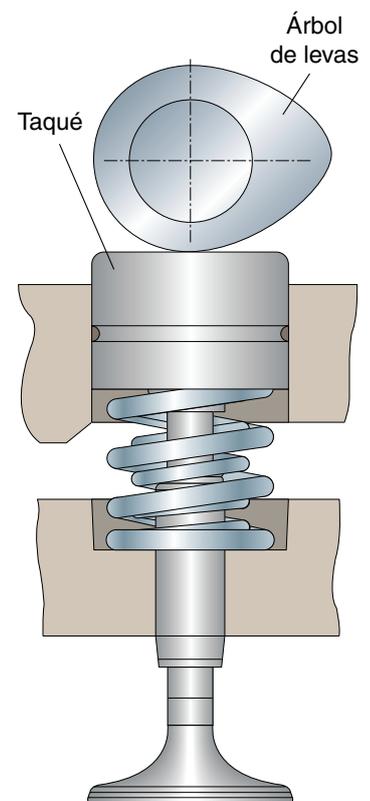
Los taqués o empujadores son accionados directamente por las levas. Su misión es aumentar la superficie de contacto entre las dos piezas de forma que se reduzca el desgaste y se puedan repartir mejor los esfuerzos laterales.

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

En la distribución OHC el taqué empuja directamente sobre la válvula (figura 8.39) y se desliza en su alojamiento practicado en la culata. El vástago de la válvula se apoya interiormente en la parte central del taqué.

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

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



↑ Figura 8.39. Empujador de ataque directo sobre la válvula.

Taqués hidráulicos

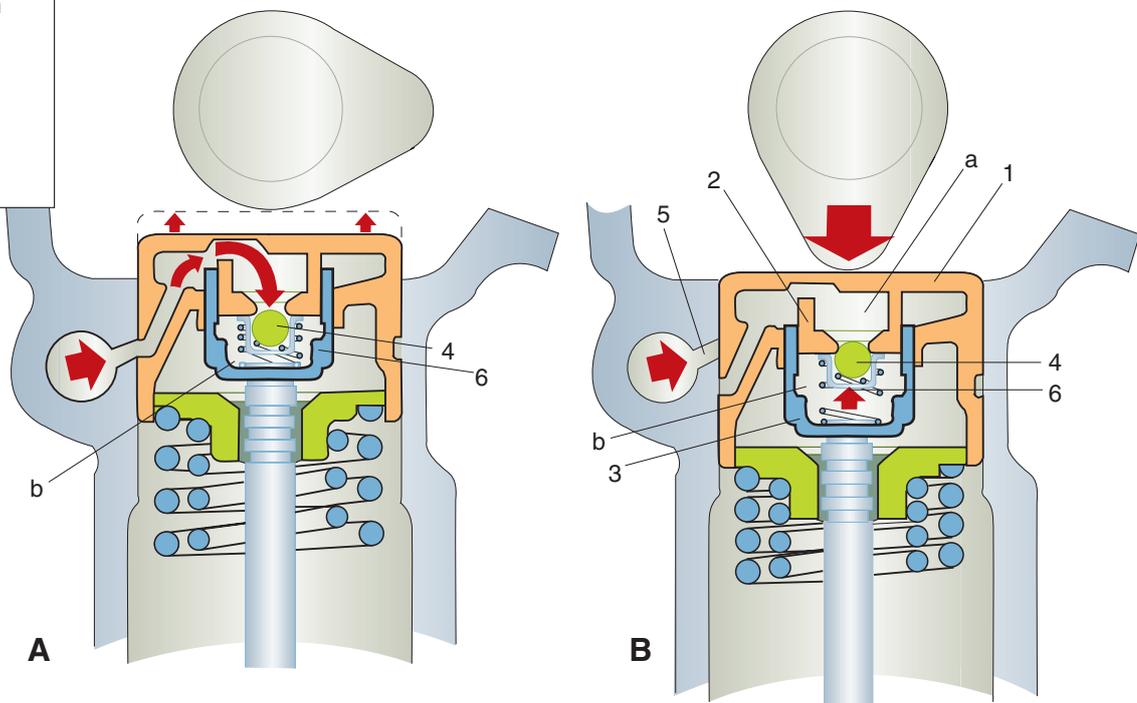
Los taqués hidráulicos compensan automáticamente las dilataciones en el sistema de distribución, por lo que no es necesario el juego de válvulas, quedando el sistema exento de mantenimiento.

- **Constitución:**

Consiste en un sencillo dispositivo hidráulico (figura 8.40) compuesto esencialmente por dos piezas móviles: el taqué (1) en contacto con el pistón (2), y la camisa (3) que se apoya en el vástago de la válvula. El muelle (6) separa ambas piezas anulando cualquier holgura. La válvula de bola (4) controla el llenado y cierre de la cámara de alta presión (b).

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

- | |
|--------------------------------|
| 1. Taqué |
| 2. Pistón |
| 3. Camisa |
| 4. Válvula de bola |
| 5. Entrada de aceite a presión |
| 6. Muelle |
| a. Cámara de baja presión |
| b. Cámara de alta presión |



↑ **Figura 8.40.** A, B. Funcionamiento del taqué hidráulico.

- **Funcionamiento:**

En la fase A, la leva desplaza el taqué, este empuje hace que la bola de la válvula (4) se pegue contra su asiento, y cierre la cámara de alta presión (b). El aceite que queda encerrado dentro hace una unión prácticamente rígida, transmitiendo la fuerza al vástago de la válvula hasta su abertura total.

La compresión del muelle ejerce una fuerte presión sobre la camisa (3), lo que comporta un aumento de presión en la cámara. Una pequeña cantidad de aceite se escapa por la holgura entre la camisa y el pistón, lo que provoca un ligero desplazamiento de la camisa en una medida que, como máximo, suele ser de 0,2 mm.

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

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

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

Los taqués hidráulicos tienen el inconveniente de su elevado peso, que provoca fuerzas de inercia a altas revoluciones. Por este motivo, en algunos motores se usan los denominados **compensadores de juego** (figura 8.41).

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

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

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

Varillas empujadoras

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

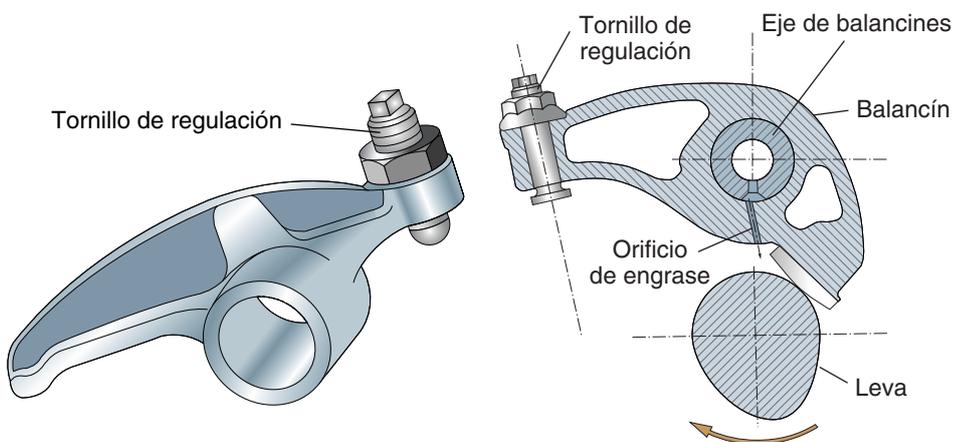
Deben tener la suficiente rigidez para soportar la fuerza del muelle sin que se deformen. Se fabrican en acero al carbono y en sus extremos llevan un acabado esférico que permite una ligera articulación en sus movimientos.

6.2. Elementos basculantes

Balancines

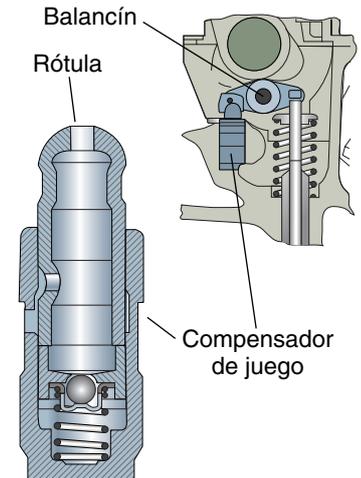
Son palancas que se montan por su parte central sobre un eje. Reciben por un extremo el empuje procedente de la leva y es transmitido a la válvula por el otro.

Los balancines son accionados mediante varillas empujadoras en los sistemas OHV, (figura 8.42) o directamente por la leva en sistemas OHC (figura 8.43).



↑ Figura 8.42. Balancín para sistema OHV.

↑ Figura 8.43. Balancín para sistema OHC.



↑ Figura 8.41. Elemento compensador de juego.

caso práctico inicial

El motor del caso inicial con sistema OHV transmite el movimiento a las válvulas mediante varillas empujadoras.

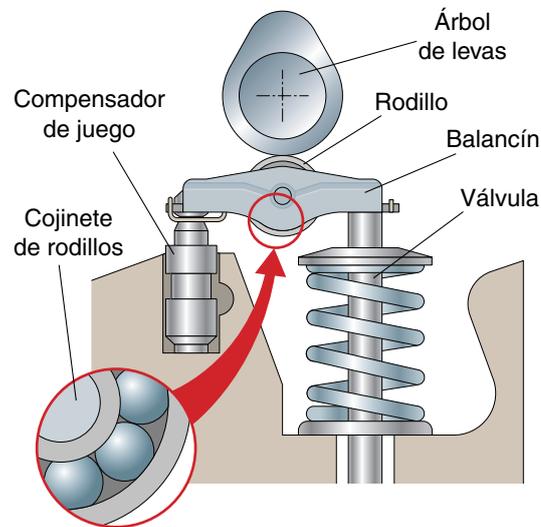
En un extremo del balancín se monta el dispositivo para regular el juego de válvulas.

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

Balancín de rodillo

Este tipo de balancín va provisto de un rodillo que gira sobre un rodamiento de agujas (figura 8.44). La leva actúa sobre el rodillo y el balancín transmite su movimiento a la válvula.

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



↑ **Figura 8.44.** Balancín de rodillo.

6.3. Dispositivos para la regulación del juego de válvulas

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

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

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

Efectos de la dilatación en la distribución

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

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

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

Consecuencias de un juego de válvulas incorrecto

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

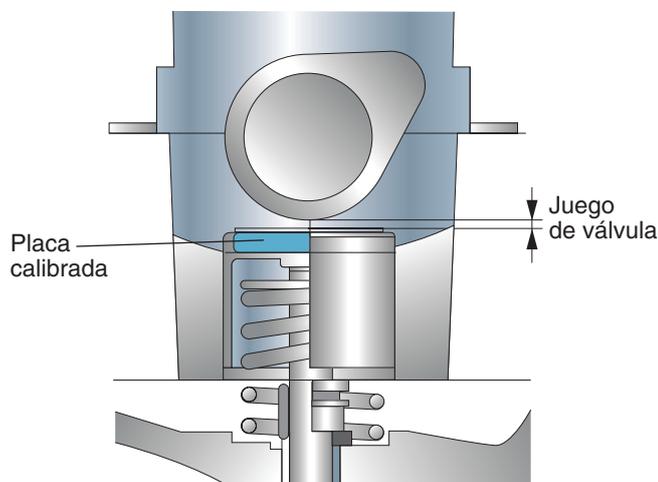
Si el juego de válvulas es mayor, el tiempo que permanecen abiertas disminuye y la alza es menor, lo que provoca la estrangulación del cambio de gases en el cilindro, empeorando el llenado y, por tanto, el rendimiento del motor. La distribución se vuelve ruidosa y se acelera el desgaste.

Tipos de dispositivos para realizar la regulación

Existen diferentes tipos. El más sencillo y comúnmente utilizado es el de tornillo y tuerca de bloqueo montado sobre el balancín (figuras 8.42 y 8.43).

Otro sistema, que se usa con frecuencia cuando no existen balancines, es el de intercalar entre la leva y el taqué unas placas calibradas (figura 8.45), cuyo espesor ha sido calculado previamente. El fabricante suministra placas de diferentes espesores.

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



↑ **Figura 8.45.** Ajuste por placa calibrada.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Qué ventajas tiene el sistema OHC sobre el OHV?
- 2. Describe cómo se transmite el movimiento de la leva a la válvula en un sistema OHV.
- 3. ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene la correa dentada como sistema de transmisión en la distribución?
- 4. ¿Cómo se lubrica la cadena de la distribución?
- 5. Explica cómo evacuan el calor las válvulas.
- 6. ¿En qué consisten las válvulas refrigeradas con sodio?
- 7. ¿Qué relación existe entre el diámetro del cilindro y el diámetro de la cabeza de la válvula?
- 8. ¿Cómo se montan los asientos de válvula sobre la culata?
- 9. ¿Qué función cumplen los retenes de válvula?
- 10. ¿Cómo es una leva de perfil tangencial?
- 11. ¿Qué función cumple la válvula de bola en el taqué hidráulico?
- 12. Describe dos dispositivos diferentes para la regulación del juego de válvulas.
- 13. ¿Qué juego mínimo se necesita en una válvula de escape construida en acero, cuando se calienta a 200 °C? La válvula tiene una longitud de 135 mm a 25 °C.
- 14. Calcula la sección de paso de admisión de un motor cuyos cilindros tienen un diámetro $D = 86$ mm y el diámetro de la válvula de admisión $d_v = 0,45 \cdot D$. La relación $L/d_v = 0,30$ y el diámetro del asiento $d_1 = 36$ mm.
- 15. Un motor tiene un AAE = 50° y un RCE = 11°. ¿Qué ángulo gira el cigüeñal mientras permanece abierta la válvula de escape?, ¿qué ángulo gira el árbol de levas?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Cómo se denomina el tipo de distribución que monta dos árboles de levas en la culata?

- a) OHV.
- b) OHC.
- c) DOHC.
- d) De correa dentada.

2 Cuando el piñón del cigüeñal gira una vuelta completa, ¿cuánto gira el piñón del árbol de levas?

- a) Media vuelta.
- b) Una vuelta.
- c) Dos vueltas.
- d) Cuatro vueltas.

3 ¿Qué ángulos de asiento suelen utilizarse en las válvulas?

- a) 45° y 90°.
- b) 90° y 120°.
- c) 60° y 90°.
- d) 120° y 360°.

4 ¿Con qué tipo de levas se consiguen movimientos más rápidos de la válvula?

- a) Con la leva tangencial.
- b) Con la leva oval.
- c) Con la leva circular.
- d) Con la leva excéntrica.

5 Una válvula de admisión abre 12° antes del PMS y cierra 48° después. ¿Cuántos grados gira el árbol de levas mientras permanece abierta la válvula?

- a) 120°.
- b) 180°.
- c) 250°.
- d) 240°.

6 ¿Cómo compensa el taqué hidráulico las dilataciones de las piezas de la distribución?

- a) Por la holgura entre la cola de la válvula y el pistón.
- b) Por la presión del muelle.
- c) Por la fuga que se produce entre la camisa y el pistón del taqué.
- d) Por la válvula de presión del aceite.

7 ¿Qué efectos tendría un juego de válvula mayor del especificado?

- a) El tiempo de apertura aumenta.
- b) El tiempo de apertura disminuye.
- c) La válvula se queda pisada.
- d) Se adelanta la apertura de la válvula.

8 ¿Qué puede llegar a ocurrir si la válvula de escape se queda pisada?

- a) Se quema al no evacuar el calor por el asiento.
- b) Provoca estrangulación en el cambio de gases.
- c) Se producen ruidos en la distribución.
- d) Se bloquea el árbol de levas.

PRÁCTICA PROFESIONAL

MATERIAL

- Motores con diferentes sistemas de distribución
- Documentación técnica

Identificar el tipo de distribución en diferentes motores

OBJETIVO

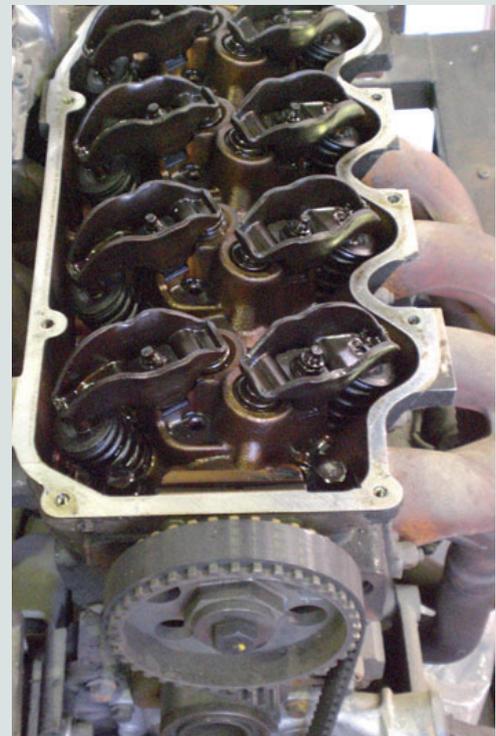
Conocer la disposición de los elementos de la distribución en los motores del taller.

DESARROLLO

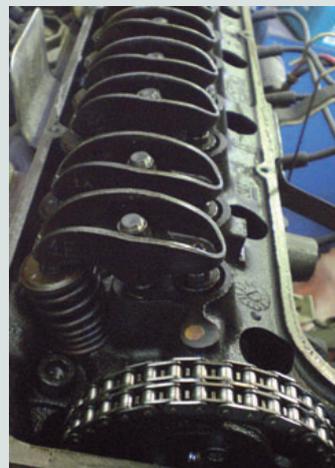
Desmontar la tapa de la culata y la cubierta de la distribución de diferentes motores para determinar el tipo de distribución que montan.



← **Figura 8.46.** DOHC Doble árbol con empujadores hidráulicos. 4 Válvulas por cilindro.



↑ **Figura 8.47.** OHC balancines y compensador de juego, válvulas en doble línea.



↑ **Figura 8.48.** OHC Válvulas en línea y transmisión por cadena.



↑ **Figura 8.49.** OHC Válvulas en doble línea con un árbol de balancines.

Determinar el diagrama de distribución del motor

OBJETIVO

Comprobar sobre el motor los ángulos de apertura y cierre de las válvulas.

DESARROLLO

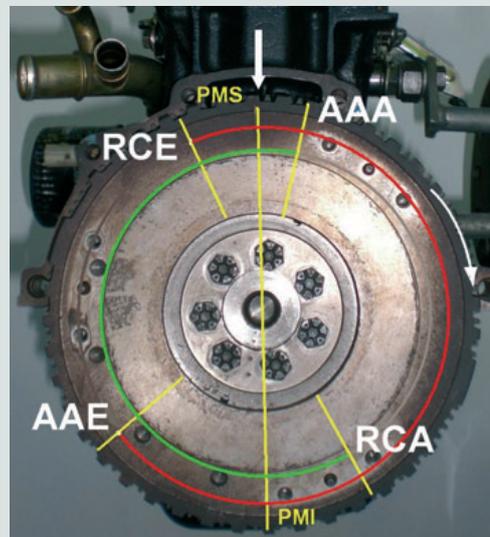
1. Se desmonta el embrague y se deja descubierto el volante motor para dibujar sobre él el diagrama de distribución.
2. Se extrae la tapa superior de la culata y su junta.
3. Se sitúa el pistón número 1 en el PMS, para ello se gira el cigüeñal hasta hacer coincidir las marcas de distribución. Se hace una marca fija en el bloque y otra sobre el volante coincidiendo con ella. Hacer otra marca de PMI diametralmente opuesta.
4. Se parte del pistón número 1 en el PMS y las dos válvulas cerradas. Se introduce la galga de menor espesor (0,05 mm) entre la válvula de escape y el balancín, o bien entre la leva y el taqué, según el tipo de distribución.
5. Se gira el volante lentamente en sentido correcto hasta que la galga quede aprisionada. Este será el comienzo de apertura (AAE). Hacer una marca en el volante coincidiendo con la fija.
6. Se sigue girando hasta que la galga quede libre, este será el momento de cierre (RCE). Hacer otra marca en el volante. El arco comprendido entre estas dos marcas será el ángulo de apertura del escape.
7. Repetir la operación con la válvula de admisión, marcar los puntos de apertura (AAA) y cierre (RCA) y dibujar el ángulo de apertura de admisión.

NOTA:

Por su falta de precisión este diagrama no es válido para comprobar la distribución, solamente como práctica para comprender mejor el diagrama de distribución.



↑ Figura 8.50. Momento de apertura de la válvula.



↑ Figura 8.51. Diagrama de distribución en el volante.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Galgas de espesores

MATERIAL

- Motor sobre soporte

MUNDO TÉCNICO

Consideraciones, preguntas y respuestas sobre los motores multiválvulas

Los motores multiválvulas se han enfocado siempre, a un tipo de motor de más prestaciones, es por lo que desde sus comienzos su rendimiento en la gama alta de revoluciones es mayor que en la gama baja de las mismas. El efecto de sobrellenado solo se consigue con velocidades de fluido altas, al haber más válvulas, el orificio de entrada es mayor, por lo que se tienen que manejar caudales altos, que solo son posibles en revoluciones altas (menos tiempo en la fase de admisión).

Esto, ¿quiere decir, que los multiválvulas no funcionan bien en bajos regímenes?

No. Para evitar este efecto se ha recurrido a varios artilugios.

- Variar el calado del árbol de levas, modificando de esta forma, el momento de apertura o cierre de la válvula (distribución variable).
- Modificar el tiempo que la válvula está abierta, así como el recorrido (alzada de la válvula) a distintos regímenes .VTEC (requiere un cambio en el perfil de la leva).
- Modificar el caudal del colector cerrando el orificio de llegada a una válvula mediante una mariposa. Es como si, en determinado régimen, solo usamos un válvula, por lo que al estrechar el paso de fluido este se acelera.
- Aprovechar la onda de presión en el colector de admisión, mejorando la respiración en alta, con colectores cortos y en baja con colectores largos (admisión variable).

Este último ha sido el más extendido, por su facilidad de montaje, solo requiere alimentar, con un colector en dos tramos y desviar el flujo mediante una válvula de mariposa en función del régimen.

¿Cuál es la razón de que en regímenes bajos el cilindro respire peor que en regímenes altos?

La razón por la que se perjudica el par en baja es la pérdida de velocidad de fluido cuando se trabaja en baja carga, lo que hace que para el mismo tamaño de conducto el fluido se mueva a menor velocidad y por lo tanto con menor energía cinética (la función de esta crece con el cuadrado de la velocidad) de ahí la posibilidad de aprovechar esta energía para una mayor sobrepresión y mejor llenado.

La idea es que un multiválvulas por diseño desplaza el régimen de par máximo a una zona de revoluciones más alta, incrementando el par en todos los regímenes, pero comparativamente haciendo perder bajos frente a altos regímenes.

La pérdida de respiración en bajo régimen (frente a la ganancia en alto) no se debe ver respecto del motor 8 válvulas, si no como un desplazamiento del régimen de par

máximo a una cota superior en régimen y como el mayor valor de potencia que obliga a una caja más desmultiplicada, la razón es clara una mayor sección de paso genera una menor velocidad de fluido (menor caudal a un menor régimen) y con ello peor llenado por menor energía cinética de gases.

El cruce de válvulas mejora el llenado por el efecto de succión de los gases al salir del cilindro, que generan un vacío que ayuda al llenado, evidentemente a cada régimen le corresponde un valor de cruce adecuado para un mejor llenado.

De igual modo a cada régimen correspondería un valor de retraso en el cierre de la válvula de admisión, para aprovechar la energía cinética de los gases de admisión, los cuales quieren entrar al cilindro incluso cuando este está subiendo.

¿Obtienen más par un 8 válvulas que un 16 válvulas a igualdad de todo lo demás?

No, un 16 válvulas obtendrá mejor par en cualquier régimen, debido a su mejor sección de paso.

¿Por qué se dice que un 8 válvulas tiene más bajos que un 16 válvulas?

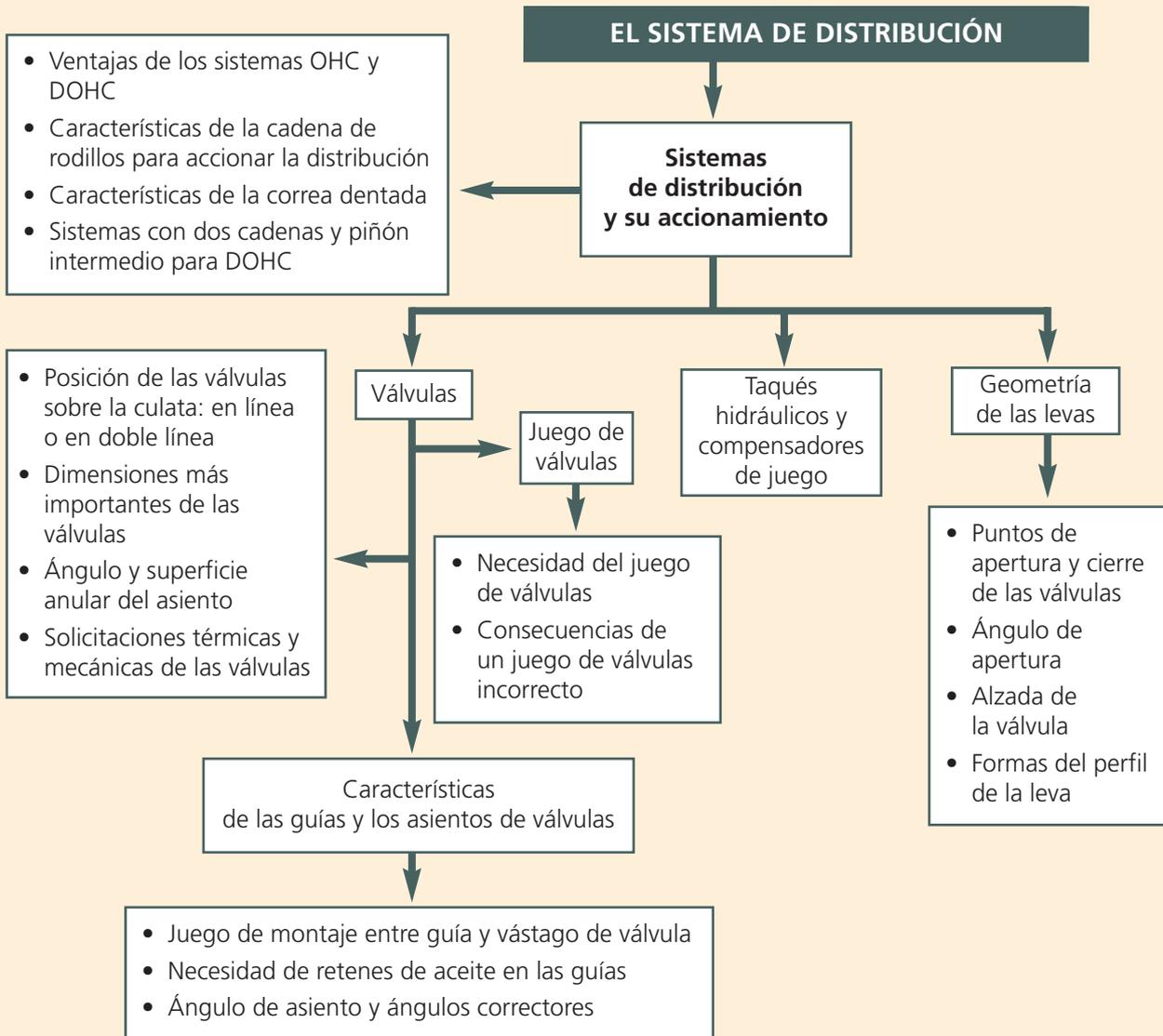
Porque es así, un 16 válvulas da más par en todo el régimen, pero da más en regímenes altos que a medios o bajos, por lo tanto ganando en todos sitios pierde en bajos, es decir, para lo que gana en alta, parece que lo ha «perdido» en baja, cuando no es así.

A igualdad de esquema de distribución a más válvulas mejor respiración de los cilindros, el empeoramiento no es en valor absoluto, si no que el valor máximo se desplaza a un régimen más elevado de ahí el acusado efecto de pérdida de par en un motor de 16 válvulas, que no es tal sino que la ganancia se manifiesta más en una zona de régimen más elevado.

La disposición de colectores, situación de válvulas, rugosidad de los mismos colectores, ángulo de entre válvulas y conductos de admisión afectan también a la forma de respirar de un motor, cuando se diseña se debe fijar los valores, como carrera, tamaño y número de válvulas y después actuar sobre la distribución, admisión y colectores de escape, para terminar de definir la forma en que queremos que funcione, si el motor es de competición puede que nos interese perder par en baja a favor de ganarlo en alta o incluso subir el régimen de giro efectivo y si es posible, dotarlo de distribución variable, admisión variable y demás elementos modificables en marcha, que nos permitan ganar «arriba» sin perder «abajo».

Fuente: Mecánica virtual

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.bilproductions.com/documents/Arbol%20de%20lavas.pdf>
- <http://www.scribd.com/doc/2233778/Sistemas-de-Distribucionevolucion-grupo-FIAT>
- <http://www.mecanicavirtual.org/correas-de-distribucion.pdf>
- <http://www.reycomotor.com/Reyco/Ksmotor/Valves1.htm>
- <http://www.guiasyvalvulas.com/informacion-general>
- <http://www.uclm.es/profesorado/porrasyoriano/motores/temas/distribucion.pdf>
- <http://www-org.autocity.com/documentos-tecnicos/?cat=3&codigoDoc=150>
- <http://www.ajusa.es/noticias/data/upimages/24e.pdf>

9

Sistemas para mejorar la carga del cilindro

vamos a conocer...

1. Rendimiento volumétrico
2. Distribución multiválvulas
3. Admisión variable
4. Sistema de distribución variable

PRÁCTICA PROFESIONAL

Funcionamiento del sistema de admisión variable ACAV de Citroën

Comprobación del reglaje del variador celular de aletas

MUNDO TÉCNICO

Motor sin árbol de levas

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás los factores que determinan el rendimiento volumétrico.
- Analizarás las características de los sistemas de distribución multiválvulas.
- Conocerás el funcionamiento de los sistemas de admisión variable y distribución variable.

situación de partida

En el departamento de ingeniería técnica de competición del equipo CUENCA RACING están preparando un motor para la temporada que da comienzo en breve. Se parte de un motor de serie con una cilindrada de 1.995 cm³ y una potencia de 90 kW a 6.500 rpm.

El motor se quiere potenciar y también reducir su consumo en la medida de lo posible, por problemas de contaminación. Hay que tener en cuenta que todo tipo de modificación tiene que estar acorde con el reglamento técnico del campeonato, que no permite modificar la cilindrada, ni exceder del régimen de revoluciones establecido en 6.500 rpm. Pero el citado reglamento nada dice de modificar el rendimiento volumétrico.

Los ingenieros de competición ven viable para lograr sus objetivos diseñar unos colectores de admisión de geometría variable, con lo

que tras la prueba de los mismos en el motor se consigue una mejora importante en la potencia.

A continuación se piensa en modificar la culata para hacerla multiválvulas, idea que posteriormente a su estudio se descarta.

Finalmente se opta por el acoplamiento de un sistema de distribución variable. Modificando los arrastres de los árboles de levas, consiguen montar un sistema igual al tipo Variocam instalado en Porsche.

Con las modificaciones consiguen sus objetivos: mejorar el par y la potencia, reducir el consumo y comprometer la fiabilidad del motor lo menos posible.

Estas modificaciones han podido llevarse a cabo por que el calculador de inyección es especial para la competición y por lo tanto admite programaciones en muchos sentidos.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Conoces alguna forma más de conseguir potencia sin modificar la cilindrada y las rpm? Razónalo.
2. ¿Por qué crees que se descartó la idea de fabricar una culata multiválvulas?
3. Si el reglamento técnico permitiese aumentar el régimen de giro del motor y lo modificamos en ese sentido, obteniendo los mismos resultados en cuanto a potencia, razona qué ventajas e inconvenientes podríamos tener.
4. Valora la importancia de la fiabilidad en un motor en el mundo de la competición.
5. ¿Crees que el consumo de un motor tiene la misma importancia en el mundo de la competición que en los vehículos de uso diario? Razona la respuesta.



1. Rendimiento volumétrico

Los motores que actualmente se fabrican para automóviles tienen que reunir ciertas cualidades. Entre ellas puede destacarse:

- Alta potencia específica.
- Suficiente grado de elasticidad.
- Bajo consumo.
- Gases de escape poco contaminantes.

caso práctico inicial

El departamento técnico del equipo Cuenca Racing, con los sistemas que han acoplado al motor, ha conseguido llenar los cilindros con más eficacia, aumentando el rendimiento volumétrico.

Para conseguirlo se necesita obtener un buen **rendimiento volumétrico** del motor (η_v). La eficacia de llenado de los cilindros se calcula comparando la masa de gas (M_a), que realmente es introducida en el cilindro, con la cantidad máxima (M_c) que podría entrar (véase punto 1 de la unidad didáctica 3).

El coeficiente de llenado en los motores atmosféricos (no sobrealimentados) es siempre inferior a 1.

$$\eta_v = \frac{M_a}{M_c} < 1$$

Esto se debe principalmente a las pérdidas de carga que se producen en los conductos de admisión, a las variaciones de densidad del aire y al espacio ocupado por los gases quemados que permanecen en el cilindro después del escape.

La cantidad de masa gaseosa admitida (M_a) está en función de la sección de paso de admisión (A) y de la velocidad del gas (v_a).

$$M_a = A \cdot v_a$$

$$A = \frac{M_a}{v_a} \quad v_a = \frac{M_a}{A}$$

La velocidad de entrada del gas en el cilindro depende también de la velocidad del pistón.

$$v_a = \frac{D^2}{d^2} \cdot v_m$$

$$\begin{aligned} v_a &= \text{velocidad del gas} & d &= \text{diámetro del conducto de admisión} \\ D &= \text{diámetro del pistón} & v_m &= \text{velocidad media del pistón} \end{aligned}$$

La mejora en el llenado de los cilindros proporciona al motor mayor potencia específica (kW/L), ya que se consigue quemar más cantidad de mezcla en cada ciclo.

Además, trae consigo un aumento de par motor y de potencia, una disminución del consumo específico de combustible y una reducción de los gases contaminantes.

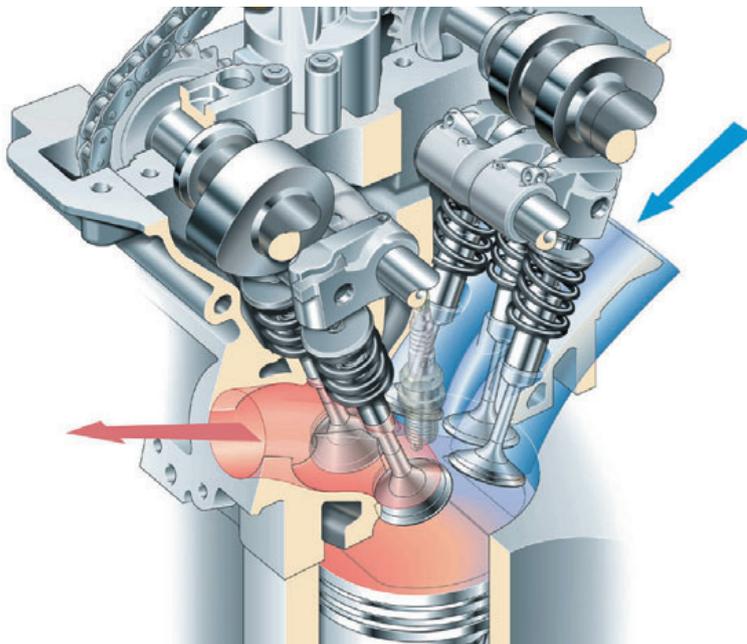
Los sistemas que hoy se emplean para mejorar la carga de los cilindros en motores atmosféricos son:

- **Distribución multiválvulas.**
- **Admisión variable.**
- **Distribución variable.**

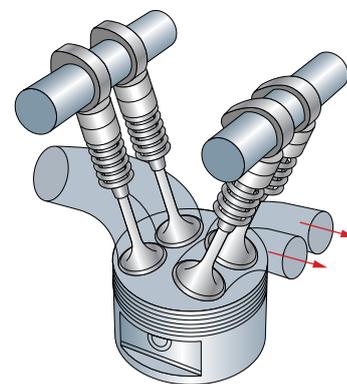
2. Distribución multiválvulas

La carga del cilindro mejora aumentando la sección de paso de los gases, con ello se reduce la resistencia y disminuyen las pérdidas de carga.

El aumento de la sección implicaría el uso de válvulas con diámetro de cabeza muy grande, que aumentarían su masa, dando lugar a problemas de inercia y de evacuación de calor. Además, sus dimensiones quedan limitadas por el diámetro del cilindro.



↑ **Figura 9.1.** Distribución con 3 válvulas de admisión y 2 de escape.



↑ **Figura 9.2.** Distribución con cuatro válvulas.

La solución más favorable consiste en duplicar el número de válvulas. De esta forma, se reduce el diámetro de cada válvula y se aprovecha mejor el espacio disponible en la cámara de combustión. Esta técnica da lugar a los motores con distribución multiválvulas. De ellos el más habitual es el de 4 válvulas por cilindro: dos de admisión y dos de escape (figura 9.2).

Existen otras configuraciones con 3 o 5 válvulas, cuyo objetivo es siempre mejorar el llenado de los cilindros, por lo que se da preferencia a las válvulas de admisión (figura 9.1).

Las 4 válvulas por cilindro se montan sobre la culata en paralelo 2 a 2 y son mandadas habitualmente por 2 árboles de levas independientes, uno para admisión y otro para escape (figura 9.3). Las válvulas forman un ángulo entre sí que puede estar comprendido entre 50° y 20° , lo que permite diseñar una cámara de combustión compacta, con una relación superficie/volumen muy favorable. La bujía se coloca en el centro y el frente de llama se extiende uniformemente. Se pueden provocar fuertes turbulencias con facilidad. Todo esto hace que se pueda trabajar con relaciones de compresión más elevadas: entre 1 y 1,5 unidades por encima de las que usan los motores de 2 válvulas.

El mejor aprovechamiento de la energía calorífica del combustible repercute positivamente en el rendimiento y también en el consumo, por lo que se consiguen unos gases de escape más limpios.

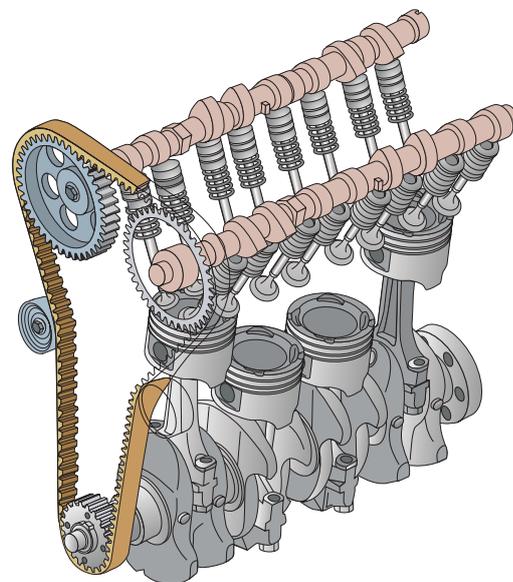


Figura 9.3. Distribución multiválvulas con doble árbol de levas.



2.1. Ventajas de la distribución multiválvulas

- La sección de entrada aumenta alrededor de un 30% debido al mejor aprovechamiento del diámetro del cilindro y de la mayor alzada de las válvulas.
- Permite optimizar el volumen y la forma de las cámaras de combustión.
- Las válvulas pesan menos, por lo que son menores los efectos de la inercia, lo que permite aperturas más rápidas.
- Los muelles pueden ser más suaves, evitando los efectos de rebote. El golpeteo contra los asientos es menor y, en general, el conjunto resulta menos ruidoso.
- El menor tamaño de las válvulas favorece su refrigeración.

2.2. El sistema multiválvulas

La velocidad del gas que entra en el cilindro está en función de la rapidez con que el pistón realiza la carrera de admisión, es decir, del número de revoluciones por minuto.

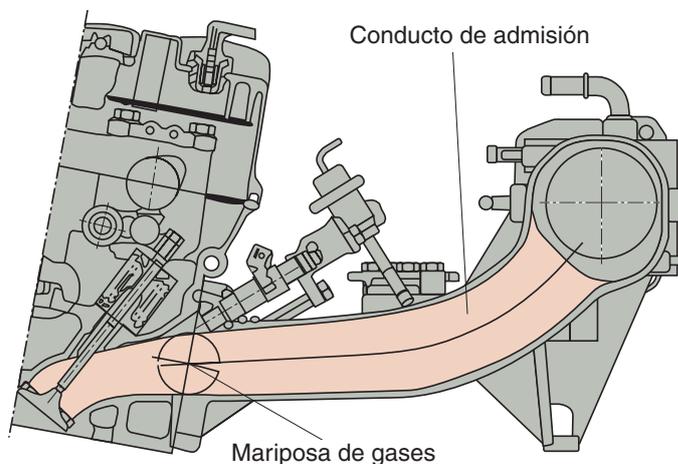
Con altos regímenes es necesario introducir un gran volumen de gas en un tiempo muy corto. La alta velocidad que adquiere la masa gaseosa provoca pérdidas de carga debido al rozamiento de los gases con las paredes de los conductos de admisión.

La mayor sección de paso que ofrecen los sistemas multiválvulas reduce las pérdidas y consigue introducir en el cilindro más cantidad de masa gaseosa. El resultado es una mejora del rendimiento a altas revoluciones comparado con el sistema de dos válvulas por cilindro.

El mayor problema que presentan los sistemas multiválvulas aparece cuando el motor funciona a bajas revoluciones, ya que la amplia sección de admisión disminuye aún más la velocidad del flujo gaseoso. La carga es deficiente y la turbulencia dentro del cilindro es muy baja, dando como resultado una ligera pérdida de potencia y par a bajas revoluciones.

En el motor de 4 válvulas por cilindro se consigue un mayor rendimiento, lo que se traduce en un par más alto y mayor potencia con elevado número de revoluciones. Esto significa mejores prestaciones como aceleración y velocidad máxima.

Para mejorar el llenado a bajas y medias revoluciones se diseñan colectores de admisión (figura 9.4) cuyas dimensiones, en cuanto a longitud y diámetro, permiten a los gases alcanzar velocidades de carga adecuadas. Sin embargo, otra solución más ventajosa consiste en utilizar colectores de admisión variable.



→ **Figura 9.4.** Colector de admisión de entrada única.

3. Admisión variable

Consiste en modificar las características del colector de admisión para adaptarlas a los distintos regímenes de giro con el fin de mejorar el llenado de los cilindros, tanto con bajo como con alto número de revoluciones. Como consecuencia se obtiene un mayor par motor.

Se utilizan dos técnicas diferentes:

- La inercia de los gases.
- La resonancia acústica.

Aunque es habitual que en el diseño de estos dispositivos se combinen ambos métodos.

3.1. Inercia de los gases

Las dimensiones del colector de admisión, referidas al diámetro y a la longitud de los conductos, determinan el régimen de giro en el que se consigue un mejor llenado de los cilindros.

A medida que aumenta el régimen de giro debería de disminuir la longitud y aumentar el diámetro de los conductos, de manera que se mantenga la inercia de los gases sin producir pérdidas de carga.

Para mejorar el llenado y, por tanto, el par motor a bajo régimen, se necesitan colectores largos y estrechos, mientras que para altas revoluciones se deben emplear conductos anchos y cortos.

3.2. Resonancia acústica

Este método se basa en el estudio de las oscilaciones de la masa gaseosa que se producen en el interior del colector de admisión debido a la apertura y cierre de las válvulas de los diferentes cilindros. Las ondas de presión y de depresión se desplazan por el interior de los conductos con una velocidad constante (la velocidad del sonido), pero con una frecuencia que varía con el régimen del motor.

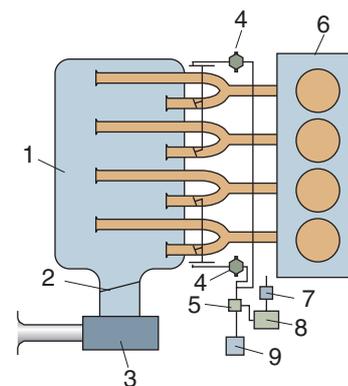
Las dimensiones del colector de admisión determinan las características acústicas adecuadas, de forma que la frecuencia de las oscilaciones a cierto régimen produce un efecto de sobrealimentación por resonancia, debido a que la onda que recorre el conducto de admisión rebota en el fondo y retorna justo a tiempo para introducirse en el cilindro antes de que cierre la válvula de admisión.

Si se incorpora un dispositivo que varía tales dimensiones se conseguirá mejorar el llenado a diferente número de revoluciones.

Los sistemas de admisión variable mejoran el par a bajas revoluciones y aumentan la potencia con elevado régimen.

3.3. Sistema ACAV

Existe una gran variedad de sistemas de admisión variable desarrollados por diferentes marcas de automóviles. Citroën utiliza, en algunos de sus motores con distribución multiválvulas, un sistema sencillo denominado ACAV (Admisión de Características Acústicas Variables), basado en la técnica de resonancia acústica de los conductos de admisión.



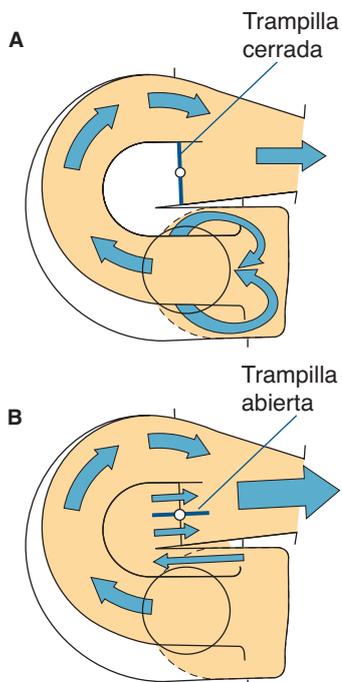
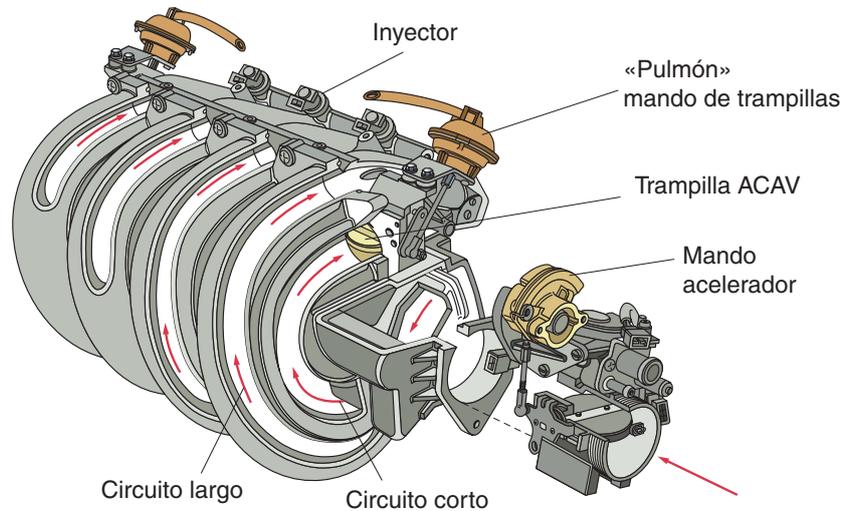
- 1 Colector de admisión
- 2 Mariposa de carga
- 3 Filtro de aire
- 4 Cápsula de depresión
- 5 Electroválvula
- 6 Motor
- 7 Captador de régimen
- 8 Calculador
- 9 Reserva de vacío de la bomba de vacío

↑ **Figura 9.5.** Sistema de admisión variable.

caso práctico inicial

Una vez calculados los colectores de admisión variable (con poca sección y largos para obtener más par y más sección y cortos para aumentar la potencia) la centralita tuvo que ser programada para la actuación de la electroválvula que comanda neumáticamente el pulmón.

→ **Figura 9.6.** Conjunto de colector con el dispositivo ACAV.



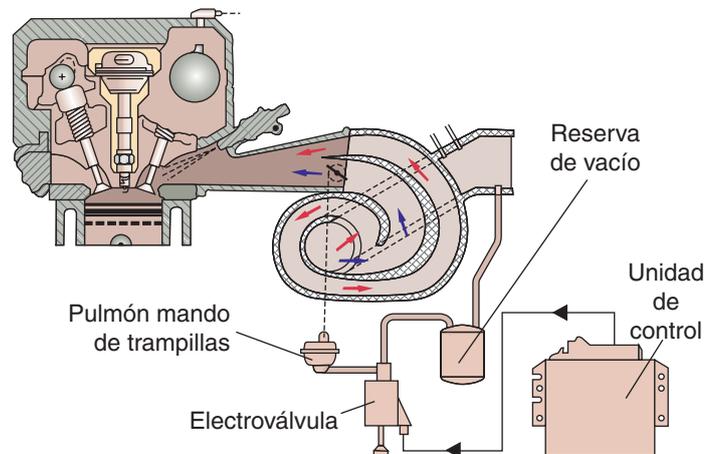
↑ **Figura 9.7.** Colector de longitud y sección variables en función del régimen.

El colector de admisión se desdobra en dos conductos de longitud y sección diferentes, que se utilizan independiente o simultáneamente en función del régimen del motor (figura 9.7).

El dispositivo de admisión (figura 9.6) comprende un repartidor en cuya entrada común se encuentra instalada la mariposa de gases. Para alimentar a cada cilindro, el repartidor cuenta con:

- Un circuito largo (A-figura 9.7) de 650 mm de longitud y 36 mm de diámetro, que mejora el par a bajas y medias revoluciones. Es utilizado entre 1.800 rpm y 5.080 rpm.
- Un circuito corto (B-figura 9.7), de 370 mm de longitud y 54 mm de diámetro, que, unido al anterior, acorta el recorrido y aumenta el diámetro consiguiendo mayor potencia con elevado número de revoluciones. Se utiliza para regímenes inferiores a 1.800 rpm y superiores a 5.080 rpm.

Los circuitos largos disponen de paso libre, en cambio los circuitos cortos están controlados por cuatro mariposas, una por cilindro, accionadas de dos en dos por cápsulas neumáticas. La depresión necesaria para accionar las cápsulas es suministrada por una bomba de vacío, o bien se toma del colector de admisión. El calculador de la inyección selecciona los conductos de admisión por medio de una electroválvula (figura 9.8) que permite la acción neumática de los pulmones en función del régimen del motor.



→ Circuito largo
→ Circuito corto

→ **Figura 9.8.** Circuito de admisión ACAV.

4. Sistema de distribución variable

El sistema de distribución convencional dispone de ángulos de apertura de las válvulas fijos, los cuales determinan el tiempo disponible para realizar la carga y vaciado del cilindro. En estos motores se hace necesario elegir entre un diagrama que ofrezca un buen par a bajo régimen, o uno con buenas prestaciones a regímenes altos, en este caso se precisan unos ángulos de apertura mayores y, por tanto, un mayor cruce de válvulas. Por lo general, se opta por una solución de compromiso entre ambas opciones.

Los **sistemas de distribución variable** ofrecen la posibilidad de disponer de, al menos, dos diagramas de distribución diferentes, uno para regímenes bajos y medios, que permite mejorar el llenado de los cilindros para obtener un buen par desde bajas revoluciones, y un segundo diagrama, que proporciona altas prestaciones a regímenes elevados.

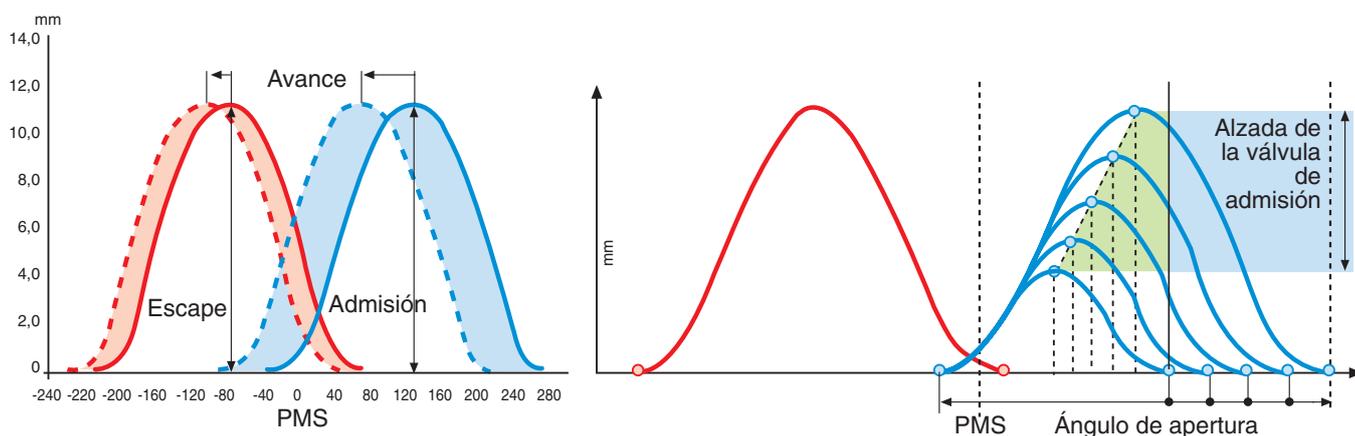
Los motores equipados con estos sistemas son más elásticos, su curva de par tiene un valor alto desde bajas revoluciones y se mantiene al subir el régimen, debido a que mejoran la carga de los cilindros en toda la gama de revoluciones. Además, contribuyen a reducir el nivel contaminante de los gases de escape.

Para conseguir que el sistema de distribución sea variable se utilizan fundamentalmente dos métodos (figura 9.9).

- Variar el momento de apertura de las válvulas desplazando el árbol de levas respecto al cigüeñal.
- Variar la alzada de la válvula, con esta técnica se modifica el ángulo de apertura y la sección de paso.

caso práctico inicial

De todas las modificaciones, la más costosa mecánicamente hablando fue el acoplamiento del sistema de distribución variable (VARIOCAM). El calculador de inyección tuvo que ser programado para la actuación de la válvula electromagnética, que comanda el cilindro hidráulico.



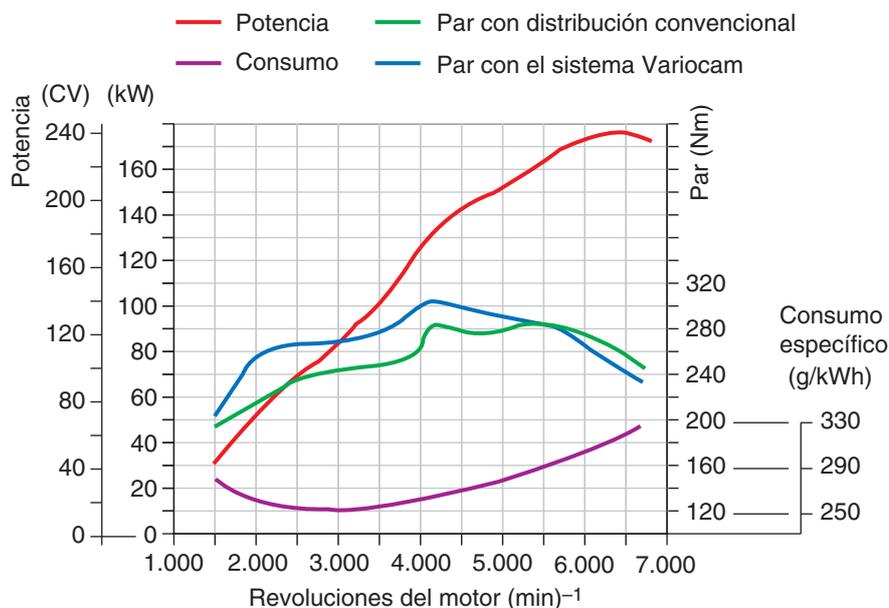
↑ **Figura 9.9.** Sistemas de distribución variable. A. Desplazamiento del árbol de levas. B. Variación de la alzada de la válvula.

4.1. Sistema Variocam

Este dispositivo ideado por la marca Porsche consigue variar el diagrama de la distribución mediante el tensor hidráulico de la cadena que transmite el giro entre los dos árboles de levas y actúa solamente sobre el árbol de admisión.

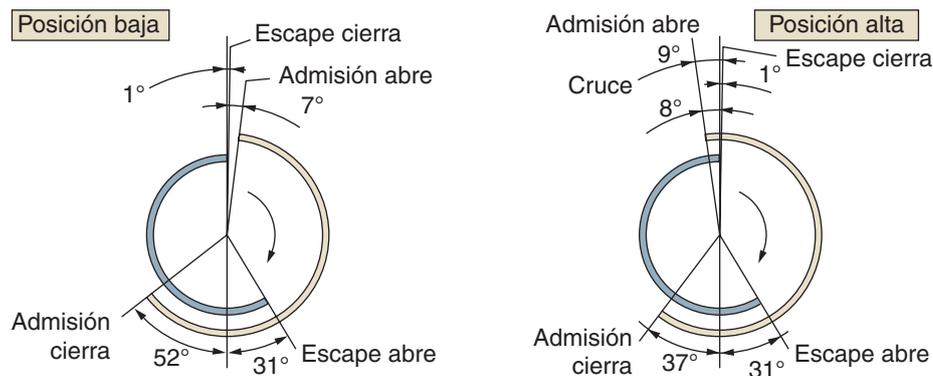
El sistema es controlado por el computador de la inyección que, mediante una señal eléctrica, regula el tensor desplazable, según el siguiente programa de actuación:

- Para un **régimen inferior a 1.500 rpm**, las válvulas de admisión abren 7° después del PMS y cierra 52° después del PMI. Con esta disposición, el motor tiene un giro uniforme a bajas revoluciones y la emisión de hidrocarburos sin quemar es muy baja debido a que no existe cruce de válvulas.
- Desde **1.500 rpm y hasta 5.500 rpm** el árbol de levas de admisión recibe un avance de $7,5^\circ$ respecto al de escape, es decir, 15° medidos sobre el cigüeñal. Esto significa que 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 de par uniforme (figura 9.10).



→ **Figura 9.10.** Curvas de par y potencia.

- A partir de 5.500 rpm, el árbol de admisión vuelve a la posición inicial, es decir, apertura 7° después del PMS, y cierre 52° después del PMI. Esto se debe a que la alta velocidad de entrada de los gases requiere un mayor retraso al cierre de admisión, para aprovechar su inercia y lograr que entre más cantidad de gas en los cilindros. En la posición anterior, las válvulas cerraban a 37° de PMI, en la posición actual lo hacen 15° después (figura 9.11).



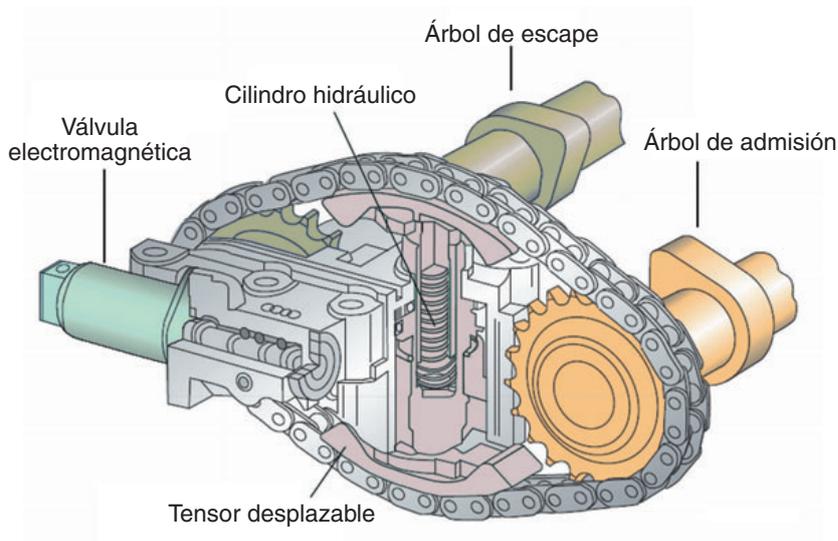
→ **Figura 9.11.** Diagramas del sistema Variocam.

Como puede apreciarse, el dispositivo cambia las cotas de las válvulas de admisión, pero el ángulo total de apertura permanece invariable. Las cotas para las válvulas de escape son: $AAE = 31^\circ$ y $RCE = 1^\circ$.

Este sistema se monta sobre una distribución de 4 válvulas por cilindro y se complementa, además, con un dispositivo de admisión variable.

Constitución y funcionamiento

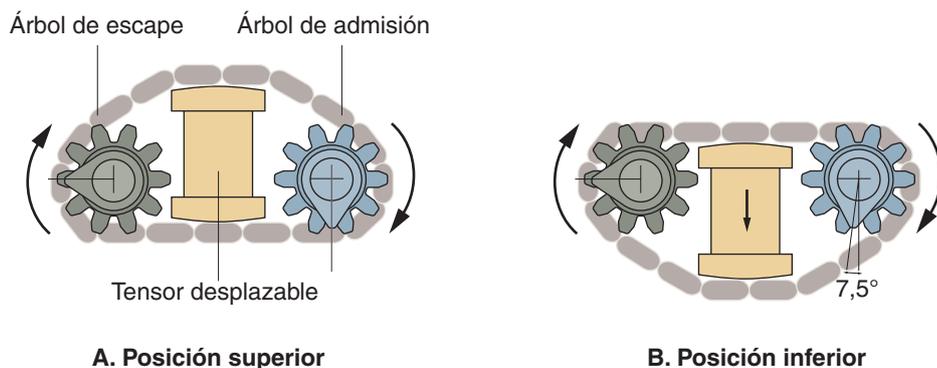
El cigüeñal acciona el árbol de levas de escape mediante una correa dentada, el árbol de admisión es accionado por la cadena de rodillos y por las ruedas de cadena (figura 9.12).



↑ **Figura 9.12.** Dispositivo regulador de avance.

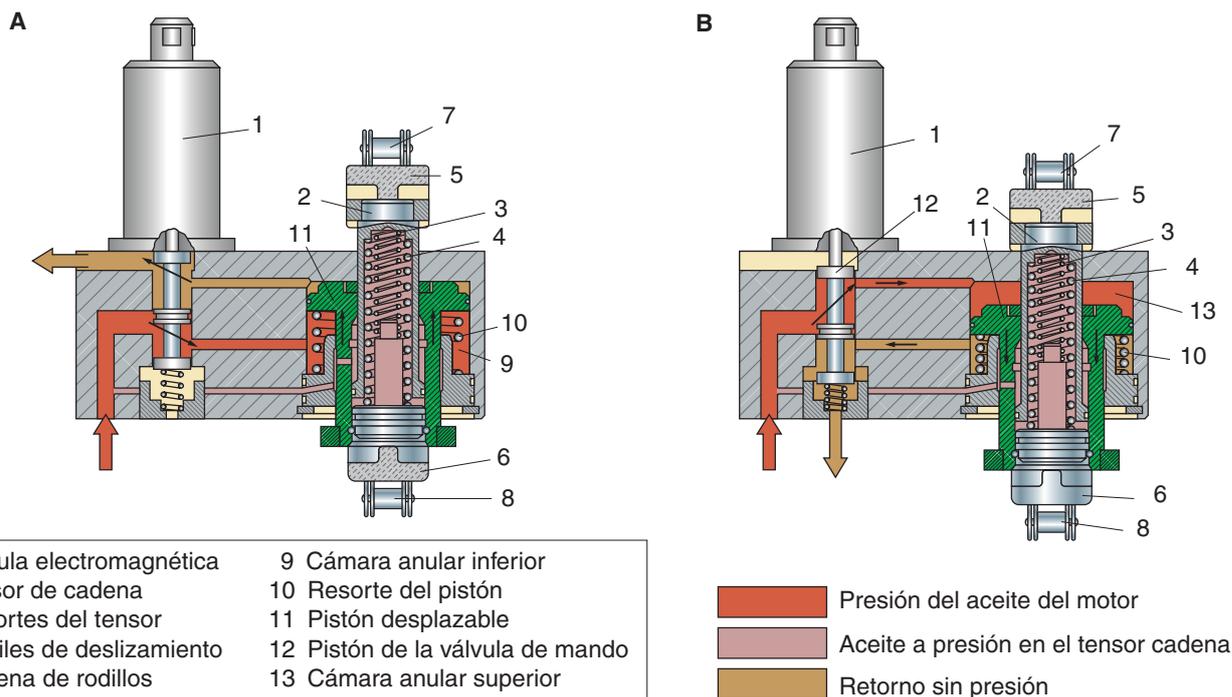
La cadena es lo suficientemente larga para que el tensor pueda subir y bajar hidráulicamente sus eslabones entre los árboles de levas. Puede adoptar dos posiciones, una superior y otra inferior (figura 9.13).

- La regulación con menor cruce, para regímenes por debajo de 1.500 rpm y por encima de 5.500 rpm, corresponde a la posición superior.
- La posición inferior con mayor cruce, que es adoptada para regímenes entre 1.500 y 5.500 rpm.



↑ **Figura 9.13.** Posiciones del tensor desplazable.

El tensor desplazable está compuesto por una válvula electromagnética (1-figura 9.14) y los contactos deslizantes (2 y 3-figura 9.14).



↑ **Figura 9.14.** Funcionamiento del tensor. A. Posición superior. B. Posición inferior.

El funcionamiento del tensor puede verse en la figura 9.14. La cadena de rodillos (7 y 8) se posiciona en los dos carriles de deslizamiento (5 y 6). El tensor (2) se apoya sobre los resortes (3 y 4).

Posición superior (A). La válvula electromagnética (1) está sin corriente. El aceite, procedente del sistema de lubricación del motor, puede pasar a la cámara interior del tensor de cadena (2) y a la cámara anular inferior (9), manteniendo al pistón desplazable (11) en su parte superior.

Posición inferior (B). La válvula electromagnética (1) está activada y empuja al pistón de mando (12) hacia abajo. Ahora, el aceite a presión pasa a la cámara superior (13) y empuja el resorte (10) desplazando el pistón (11) a su posición inferior. El aceite sobrante de la cámara (9) es evacuado.

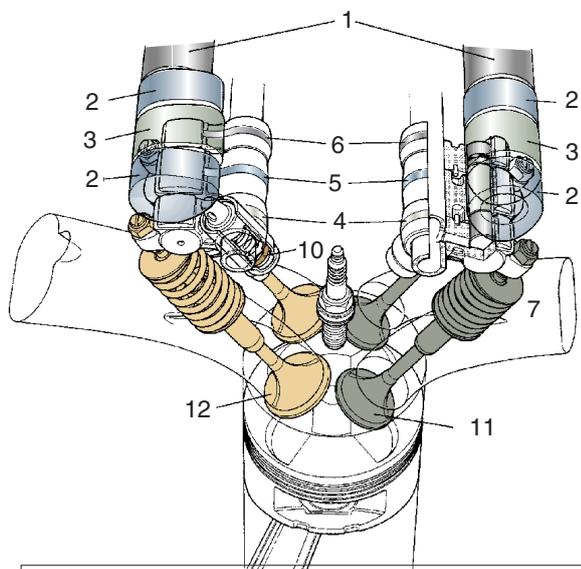
4.2. Sistema VTEC

El sistema de Distribución Variable y Control Electrónico de la Elevación (VTEC), desarrollado por la marca Honda, se basa en la variación de la alzada de las válvulas y de su momento de apertura en función del número de revoluciones.

Los motores de turismos son usados la mayor parte del tiempo a regímenes medios y bajos, en estas condiciones la velocidad del pistón es lenta, por lo que una reducción en la sección de paso de admisión proporciona mayor velocidad de entrada a los gases. Con altas revoluciones se incrementa la alzada de las válvulas, lo que supone una mayor sección de paso, a la vez que aumenta el tiempo de admisión.

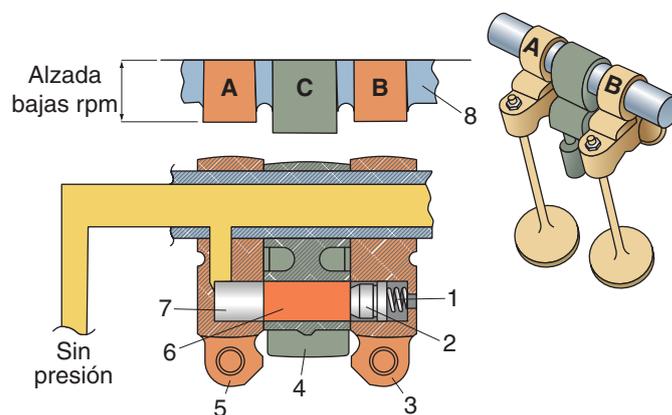
El mecanismo de cuatro válvulas por cilindro (figura 9.15) está dotado de tres levas y tres balancines por cada dos válvulas, tanto en el lado de admisión como en el de escape.

Las dos levas de los extremos (figura 9.16) tienen menor alzada y accionan las válvulas a bajo y medio régimen de rpm. La leva central dispone de mayor alzada y entra en funcionamiento a un elevado número de rpm. Los tres balancines, denominados primario, secundario y central, incorporan un dispositivo hidráulico para su acoplamiento o desacoplamiento. Se instala también un muelle suplementario que absorbe el juego del balancín central cuando no está acoplado.



- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Árbol de levas | 6 Balancines secundarios |
| 2 Lóbulos de leva para rpm bajas | 7 Muelle de pérdida de movimiento |
| 3 Lóbulos de leva para rpm altas | 8 Válvula de escape |
| 4 Balancines primarios | 9 Válvula de admisión |
| 5 Balancines centrados | |

↑ Figura 9.15. Sistema VTEC.



- | |
|--------------------------|
| 1 Muelle de retorno |
| 2 Pasador de tope |
| 3 Balancines secundarios |
| 4 Balancines centrales |
| 5 Balancines primarios |
| 6 Pistón hidráulico |
| 7 Pistón hidráulico |
| 8 Árbol de levas |

A y B Perfiles de leva para rpm bajas, accionan los balancines por separado

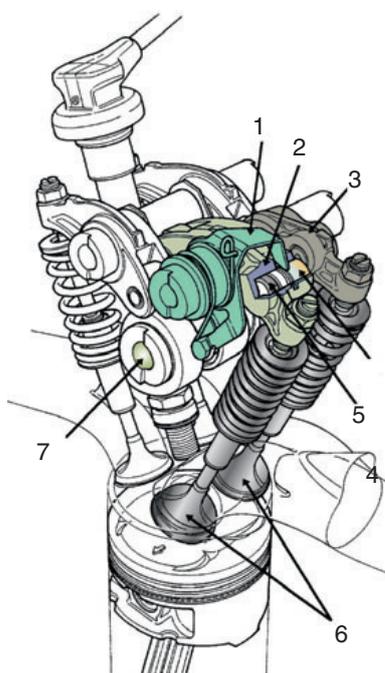
↑ Figura 9.16. Balancines independientes. Bajas revoluciones.

Funcionamiento

A bajas revoluciones (figura 9.16) los balancines primario (5) y secundario (3) son independientes del balancín central. Estos están accionados de forma separada por las levas A y B, que están dispuestas con un ligero desfase para mejorar el llenado.

Con altas revoluciones (figura 9.17), el calculador de la inyección acciona una válvula que deja paso a la presión de aceite (4) y desplaza a los pistones (3 y 2), como consecuencia se sincronizan los tres balancines, moviéndose como una sola pieza. En esta situación, todos los balancines son accionados por la leva central C, que posee una mayor alzada que las levas A y B, lo que supone un mayor tiempo de apertura, mejorando así el llenado de los cilindros en altas revoluciones.

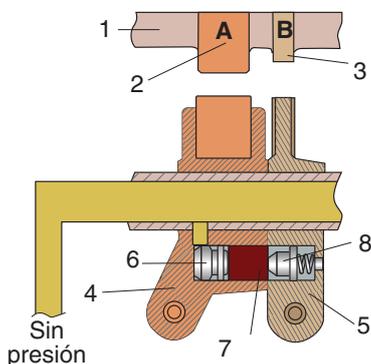
La transición de altas a bajas revoluciones se realiza por el muelle de retorno (1-figura 9.16) que empuja los pistones cuando cesa la presión hidráulica y desacopla los balancines.



- 1 Palanca de sincronización
- 2 Balancín primario
- 3 Balancín secundario
- 4 Pistón de sincronización
- 5 Pistón de retorno
- 6 Válvulas de admisión
- 7 Eje de levas

↑ Figura 9.18. Sistema VTEC-E.

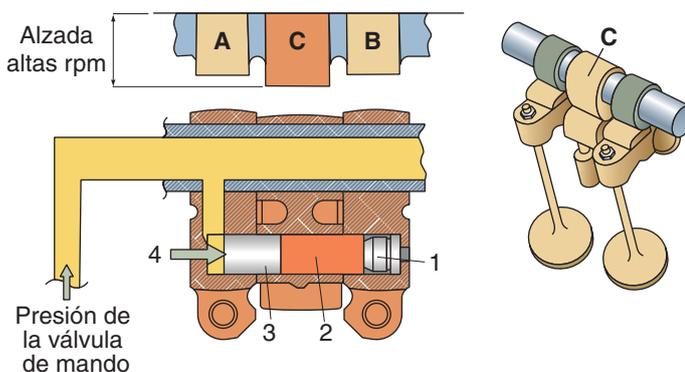
↓ Figura 9.19. Accionamiento de las válvulas para régimen < 2.500 rpm.



- 1 Árbol de levas
- 2 Lóbulo de leva A (primario)
- 3 Lóbulo de leva B (secundario)
- 4 Balancín primario
- 5 Balancín secundario
- 6 Pistón de conexión hidráulica A
- 7 Pistón de conexión hidráulica B
- 8 Pasador de tope con muelle de retorno

ELEVACIÓN DE LAS VÁLVULAS A VELOCIDADES BAJAS DEL MOTOR			
	Admisión		Escape
	Primaria	Secundaria	
Elevación de las válv. (mm)	8	0,65	6,5

DISTRIBUCIÓN DE LAS VÁLVULAS A VELOCIDADES BAJAS DEL MOTOR	
Admisión abierta	P: 10° después PMS S: 88° después PMS
Admisión cerrada	P: 25° después del PMI S: 10° antes del PMI
Escape abierto	30° antes del PMS
Escape cerrado	20° antes del PMS



- C Perfil de leva para rpm altas. Los balancines quedan conectados a través del pistón hidráulico.
- 1 Pasador de tope
- 2 Pistón hidráulico
- 3 Pistón hidráulico
- 4 Presión de aceite

Figura 9.17. Balancines conectados. Altas revoluciones.

4.3. Sistema VTEC-E

El sistema VTEC-E (figura 9.18) deriva del anterior y, aunque el accionamiento es muy similar, varía esencialmente en su forma de actuar.

En este caso las válvulas de escape funcionan con una elevación y distribución constantes, ya que el dispositivo solo interviene sobre las de admisión. A bajas revoluciones solamente abre una de las válvulas de admisión, y con altas revoluciones abren las dos. De esta forma se obtienen las ventajas de los motores de dos y de cuatro válvulas por cilindro.

El sistema dispone de dos balancines y dos levas para cada cilindro. Los balancines primario y secundario pueden estar acoplados o no mediante un dispositivo de pistón accionado hidráulicamente.

Funcionamiento

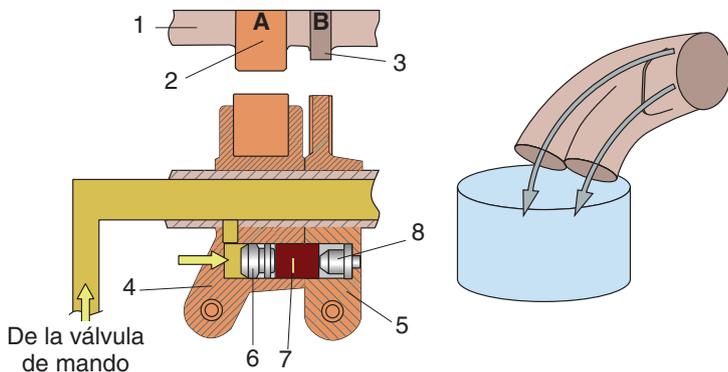
- **Balancines sin acoplar** (figura 9.19), por debajo de 2.500 rpm. Los balancines primario y secundario actúan independientemente y son movidos por las levas A, de 8 mm de alzada, y B, de 0,65 mm de alzada. Cuando la válvula primaria está totalmente abierta, la elevación de la secundaria es solamente de 0,65 mm. Esta pequeña abertura evita la acumulación no deseable de la mezcla en el segundo conducto de admisión. El flujo de entrada por una sola válvula

origina una fuerte turbulencia dentro del cilindro que permite realizar una combustión más eficiente, incluso con mezclas pobres.

Con una sola válvula de admisión el llenado mejora a bajas revoluciones.

- **Balancines conectados** (figura 9.20). Cuando el motor supera las 2.500 rpm, el calculador de la inyección envía una señal que abre la válvula que da paso a la presión hidráulica desplazando los pistones. Los balancines quedan entonces conectados entre sí de manera firme. Es la leva primaria A la que mueve ahora las dos válvulas de admisión con la misma elevación y la misma distribución. En estas condiciones aumenta la potencia al subir el número de revoluciones.

↓ **Figura 9.20.** Accionamiento de las válvulas para régimen > 2.500 rpm.



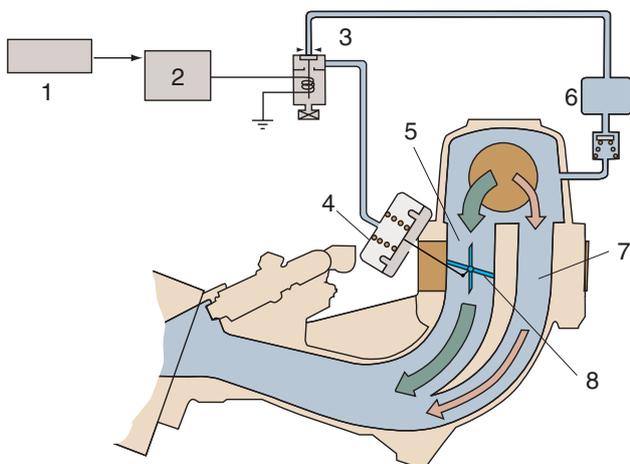
- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 Árbol de levas | 6 Pistón de conexión hidráulica A |
| 2 Lóbulo de leva A (primario) | 7 Pistón de conexión hidráulica B |
| 3 Lóbulo de leva B (secundario) | 8 Pasador de tope con muelle de retorno |
| 4 Balancín primario | |
| 5 Balancín secundario | |

DISTRIBUCIÓN DE LAS VÁLVULAS A VELOCIDADES ALTAS DEL MOTOR	
Admisión abierta	P: 10° después PMS S: 10° después PMS
Admisión cerrada	P: 25° después del PMI S: 25° antes del PMI
Escape abierto	30° antes del PMS
Escape cerrado	20° antes del PMS

ELEVACIÓN DE LAS VÁLVULAS A VELOCIDADES ALTAS DEL MOTOR	Admisión		Escape
	Primaria	Secundaria	
Elevación de las válv. (mm)	8	8	6,5

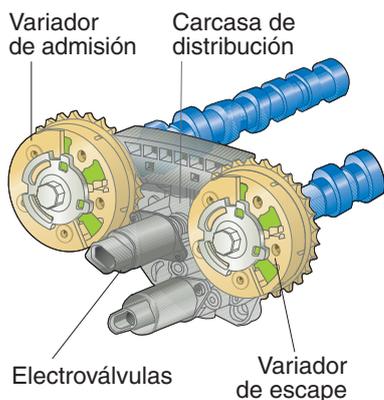
El colector de admisión dispone además de un **sistema de admisión variable** (figura 9.21), que permite la selección de la vía de admisión que sea más favorable a cada régimen del motor.

La trampilla (8) permanece cerrada a bajas revoluciones, haciéndose uso de la vía larga para aumentar el par. La vía ancha para elevado régimen es seleccionada por decisión del calculador (2), en función del número de revoluciones y de la posición de la mariposa de gases mediante el sensor (1). Cuando es activada la válvula de solenoide (3), la depresión procedente del colector activa el diafragma (4), y abre la trampilla (8).

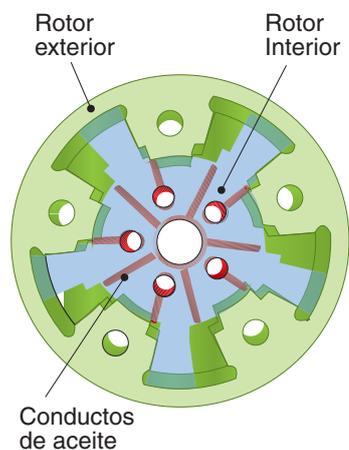


1. Sensor del ángulo de la mariposa
2. Unidad de control
3. Electroválvula de control de depresión
4. Cápsula de mando de trampilla
5. Conducto secundario
6. Cámara de depresión
7. Conducto primario
8. Trampilla

← **Figura 9.21.** Sistema de admisión variable.



↑ **Figura 9.22.** Configuración de la distribución variable.



↑ **Figura 9.23.** Variador celular de aletas.

4.4. Variador celular de aletas

Este sistema es utilizado por el grupo Volkswagen en algunos de sus motores. Se compone de dos variadores de aletas (figura 9.22), uno en el árbol de levas de admisión y otro en el de escape, dos electroválvulas, un circuito hidráulico y un dispositivo de control electrónico.

Los árboles de levas de admisión y escape pueden adoptar diferentes posiciones para obtener un ralentí estable, un buen nivel de potencia a regímenes superiores y un alto par en regímenes medios y bajos para lo cual es necesario un buen llenado de los cilindros.

Además tiene una función de **recirculación de gases de escape**. Durante el cruce de válvulas es posible provocar una recirculación interna de gases de escape. Se proporciona un gran avance a la apertura de las válvulas de admisión, de modo que como la válvula de escape aún está abierta, una parte de los gases de escape pasan al conducto de admisión. La cantidad de gases de escape que recirculan depende de la magnitud del cruce de válvulas.

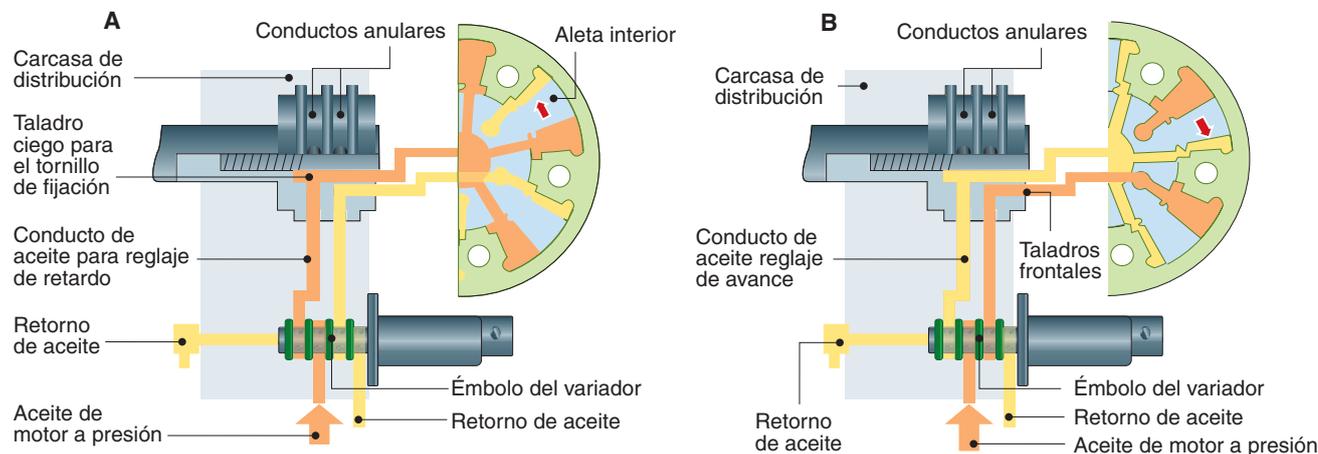
Funcionamiento

Los variadores celulares de aletas están compuestos de una carcasa con rotor exterior solidaria a la rueda dentada de la transmisión y un rotor interior unido al árbol de levas (figura 9.23).

Los conductos de aceite del circuito hidráulico comunican con las cámaras que se forman entre las aletas de ambos rotores. La unidad de control comanda las electroválvulas para dirigir el aceite a presión hacia estas cámaras (figura 9.24), cuando unas cámaras reciben presión las cámaras contiguas son puestas en comunicación con el retorno, de modo que el rotor interior unido al árbol de levas sufre un decalaje respecto al rotor exterior unido a la cadena de transmisión (avance).

Es posible invertir el sentido de desplazamiento del decalaje cambiando la posición de las electroválvulas (retardo). El reglaje máximo de admisión es de 52° y para el árbol de levas de escape de 22°

La gestión del sistema está integrada en la unidad de control del motor que contiene programadas las características necesarias para la regulación de los árboles de admisión y escape.



↑ **Figura 9.24.** Funcionamiento A. Reglaje de retardo. B. Reglaje de avance.

Los avances suministrados están en función de la información que recibe de los sensores de revoluciones de motor, del medidor de masa de aire y de la temperatura de motor. La unidad de control calcula el par motor con la información de revoluciones y masa de aire, además los transmisores de los árboles de levas verifican la posición que adopta cada uno de ellos.

4.5. Valvetronic

El sistema Valvetronic de BMW es un dispositivo de regulación variable de la carrera de las válvulas de admisión (figura 9.25). Puede variar la alzada de las válvulas de forma continua desde 0 hasta 9,7 mm, de esta manera las válvulas de admisión regulan la entrada de aire a los cilindros sin necesidad de una válvula de mariposa en el colector de admisión.

Con cargas bajas la alzada de las válvulas de admisión es mínima, a medida que la carga aumenta la sección de paso del gas se hace mayor (figura 9.26).

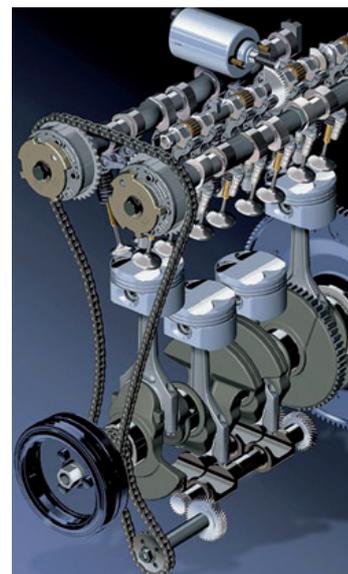
La válvula de mariposa supone un obstáculo al paso del aire que provoca pérdidas en la carga del cilindro, la eliminación de la mariposa mejora el rendimiento del motor.

Funcionamiento

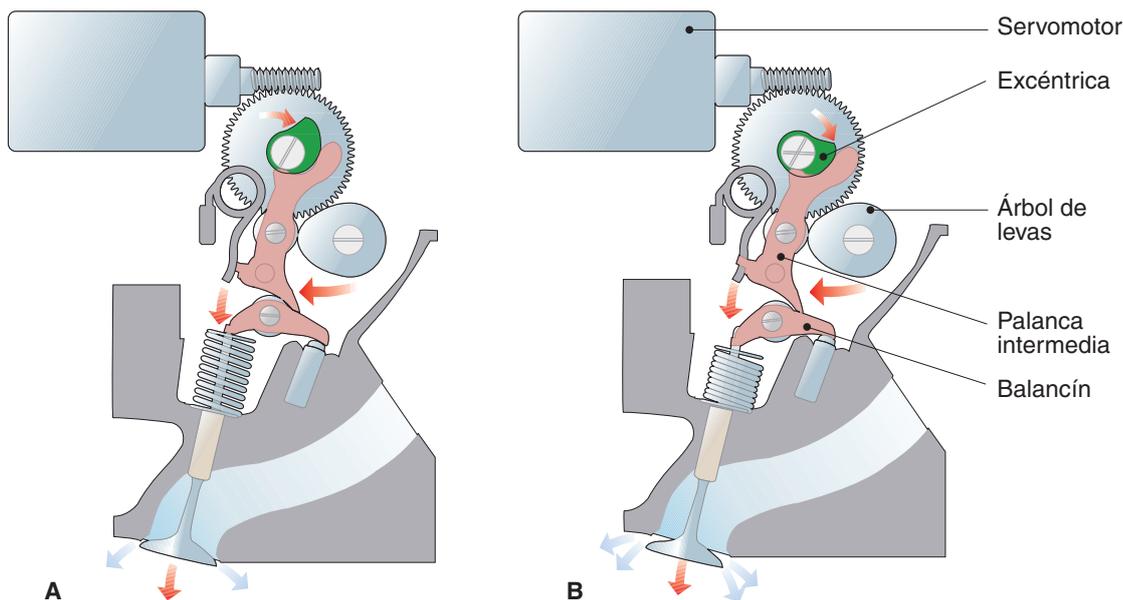
El mecanismo está compuesto por un motor eléctrico, un árbol de excéntricas, palancas intermedias y balancines, además de las válvulas y el árbol de levas.

La leva actúa sobre la palanca intermedia que se apoya por su parte inferior en un balancín de rodillo que está en contacto con la válvula. Por su parte superior la palanca intermedia apoya en una excéntrica.

El motor eléctrico hace girar el árbol de excéntricas que a su vez posiciona las palancas intermedias. De esta posición dependerá el alzado de la válvula cuando la leva ataque sobre la palanca intermedia y esta empuje al balancín.



↑ Figura 9.25. Sistemas Valvetronic y Vanos en un motor BMW.



↑ Figura 9.26. Regulación del alzado de la válvula. A. Baja carga. B. Cargas altas.

La unidad de control comanda la rotación del motor eléctrico que coloca las palancas intermedias en la posición adecuada para conseguir una determinada carrera de la válvula.

El dispositivo Valvetronic actúa conjuntamente con el sistema Vanos que regula los tiempos de distribución sobre los árboles de admisión y de escape. La acción combinada de ambos sistemas consigue variar tanto la alzada de las válvulas como los ángulos del diagrama de distribución.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Cómo se expresa el coeficiente de llenado o rendimiento volumétrico (η_v)?
- 2. Analiza las ventajas y los inconvenientes que presenta la distribución multiválvulas.
- 3. ¿Qué dos técnicas se utilizan en los sistemas de admisión variable?
- 4. En la admisión variable, ¿qué tipo de conductos se usan en función del régimen?
- 5. ¿Qué dispositivo se emplea para seleccionar dichos conductos?
- 6. ¿Por qué se emplean conductos largos y estrechos para un bajo régimen?
- 7. ¿Qué fases de actuación tiene el dispositivo Variocam?
- 8. ¿Cómo actúa el tensor de la cadena que une los dos árboles de levas?
- 9. ¿Qué programa se elige para regímenes superiores a 5.500 rpm. ¿Por qué?
- 10. ¿Cómo actúa el sistema VTEC a bajas revoluciones?
- 11. ¿Cómo se acciona el dispositivo de balancines con altas revoluciones?
- 12. ¿Cómo se efectúa la transición de altas a bajas revoluciones?
- 13. ¿Qué fases de actuación tiene el dispositivo VTEC-E?
- 14. Cuando no están acoplados los balancines, ¿qué alza tiene cada válvula de admisión?
- 15. ¿Qué ventajas tiene la admisión por una sola válvula a bajas revoluciones?
- 16. Cita tres motores actuales que sean multiválvulas y que lleven incorporado una distribución y una admisión variable.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 La cantidad de masa gaseosa admitida en el cilindro está en función de:

- a) El diagrama de distribución y la potencia del motor.
- b) El tipo de distribución y el número de revoluciones.
- c) La sección de paso de admisión y la velocidad del gas.
- d) El par motor y la velocidad del pistón.

2 ¿Qué ventajas presenta la distribución multiválvulas?

- a) Mayor sección de entrada para los gases.
- b) Mejora el volumen y la forma de la cámara de combustión.
- c) Las válvulas pesan menos y se refrigeran mejor.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

3 En una admisión variable, ¿qué tipo de conductos se emplean para regímenes altos de revoluciones?

- a) Conductos largos y estrechos.
- b) Conductos anchos y cortos.
- c) Conductos con baja resonancia acústica.
- d) Todas las anteriores son correctas.

4 ¿Qué ventajas tienen los sistemas de distribución variable?

- a) Proporcionan dos diagramas de distribución diferentes.
- b) Varían las características acústicas de los conductos de admisión.
- c) Varían la posición del árbol de levas de escape.
- d) Varían las características de la cámara de combustión.

5 ¿Dónde se coloca el tensor hidráulico del sistema Variocam?

- a) En el árbol de levas de admisión.
- b) En la cadena de transmisión entre los dos árboles de levas.
- c) En el colector de admisión.
- d) En los taqués.

6 ¿Qué elemento del sistema Variocam direcciona la presión hidráulica para conseguir las dos posiciones de funcionamiento del tensor?

- a) Una válvula hidráulica.
- b) Una mariposa.
- c) Una válvula limitadora de presión.
- d) Una electroválvula.

7 ¿Qué elementos tiene el dispositivo VTEC para el mando de las válvulas?

- a) Una leva y dos balancines para cada dos válvulas.
- b) Una leva y un balancín para cada dos válvulas.
- c) Tres levas y tres balancines para cada dos válvulas.
- d) Tres levas y dos balancines para cada dos válvulas.

8 ¿Cómo actúa el dispositivo VTEC-E sobre el sistema de distribución?

- a) Con bajas revoluciones abre una válvula de admisión y con altas revoluciones abren las dos.
- b) Con altas revoluciones se usa un conducto más largo y estrecho que con bajas revoluciones.
- c) Con bajas revoluciones el árbol de levas de admisión queda desfasado respecto al de escape.
- d) Con bajas revoluciones las válvulas de admisión tienen menor alzada que las de escape.



PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Pistola de vacío
- Multímetro

MATERIAL

- Motor con dispositivo de admisión variable
- Documentación técnica

Funcionamiento del sistema de admisión variable ACAV de Citroën

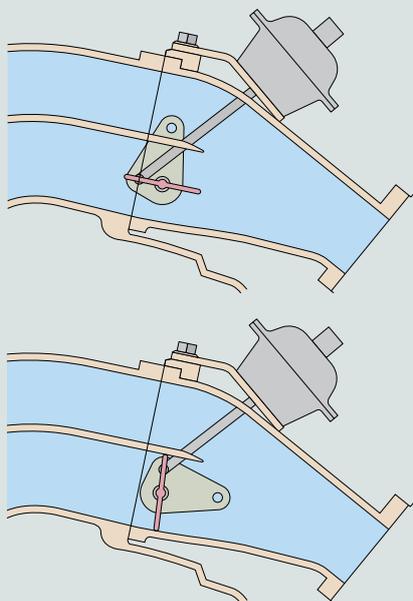
OBJETIVO

Identificar los elementos que componen un sistema de admisión variable y verificar su funcionamiento.

DESARROLLO

1. Se identifican en el motor los componentes del sistema de admisión variable: conductos de admisión, 4 trampillas, 2 cápsulas de mando y 1 electroválvula.
2. Se arranca el motor y se comprueba la secuencia de actuación y el régimen de revoluciones al que se activa la electroválvula para modificar las dimensiones del colector.

A ralentí las trampillas están abiertas (circuito corto). A 1.800 rpm las trampillas se cierran (circuito largo). A partir de 5.100 rpm las trampillas se abren (circuito corto).
3. Se comprueba la estanqueidad de las cápsulas y de los conductos de vacío, para ello se desconecta de la electroválvula el tubo que va hacia las cápsulas y se aplica vacío con la pistola (350 milibares). Las dos cápsulas se deben activar. Se comprueba también la hermeticidad del tubo que va hacia el colector.
4. La electroválvula se comprueba midiendo su resistencia interna con un óhmetro y la continuidad de las conexiones entre la unidad de control y la electroválvula.



↑ Figura 9.27.



↑ Figura 9.28.

Comprobación del reglaje del variador celular de aletas

OBJETIVO

Diagnosticar los componentes de la distribución variable a través del conector para la diagnosis.

DESARROLLO

- Consultar en la documentación técnica la configuración del sistema y el esquema de la instalación eléctrica de los componentes.
- Enchufar el equipo de comprobación al conector diagnóstico.

- Siguiendo las instrucciones del equipo consultar la memoria de averías.

En caso de existir alguna avería memorizada se procede a la comprobación de los elementos afectados.

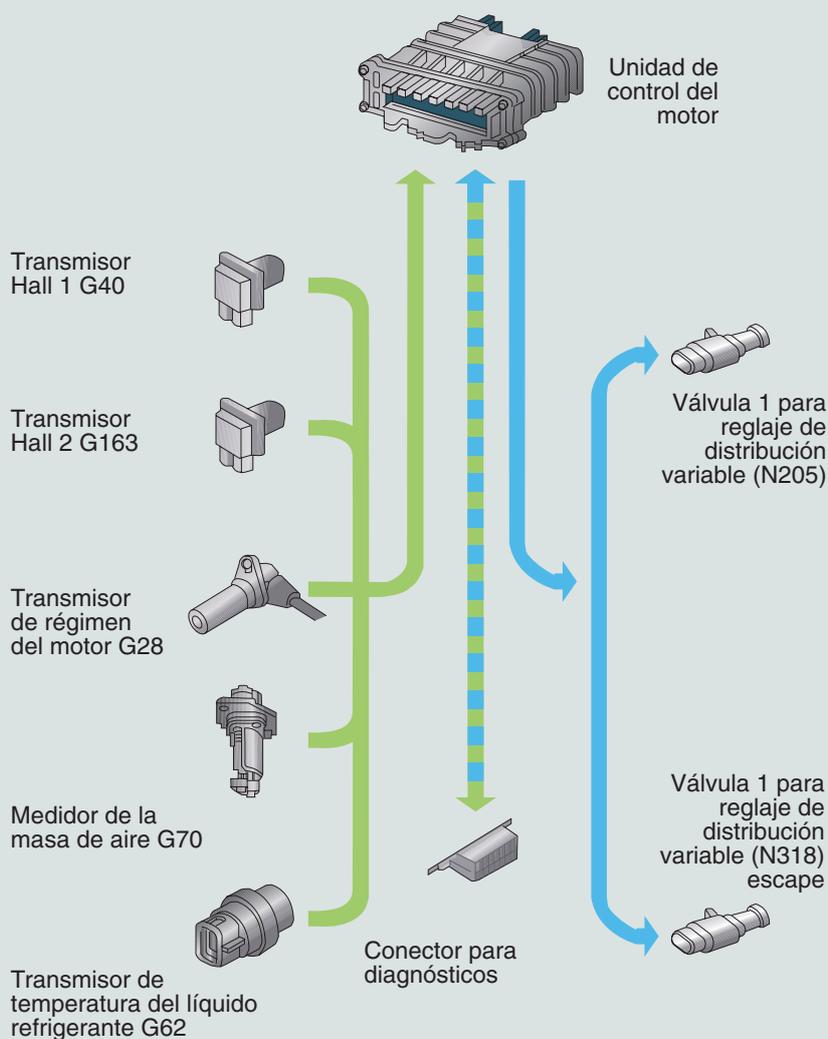
- Realizar una activación de actuadores. El equipo envía una señal intermitente de activación. Se deberá de comprobar de forma visual o acústica que el elemento funciona.
- Leer bloque de valores de medición. Se pone en funcionamiento el motor y se toman los valores instantáneos de los sensores y de los actuadores. Los valores reales obtenidos se comparan con los de la documentación técnica.
- Con la función osciloscopio comprobar los oscilogramas de:
 - El sensor de régimen de tipo inductivo.
 - Los sensores de posicionamiento de los árboles de levas de tipo Hall.
- Una vez localizada y reparada la avería se procede al borrado de la memoria de averías.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Equipo de diagnosis
- Multímetro

MATERIAL

- Vehículo equipado con variador
- Documentación técnica

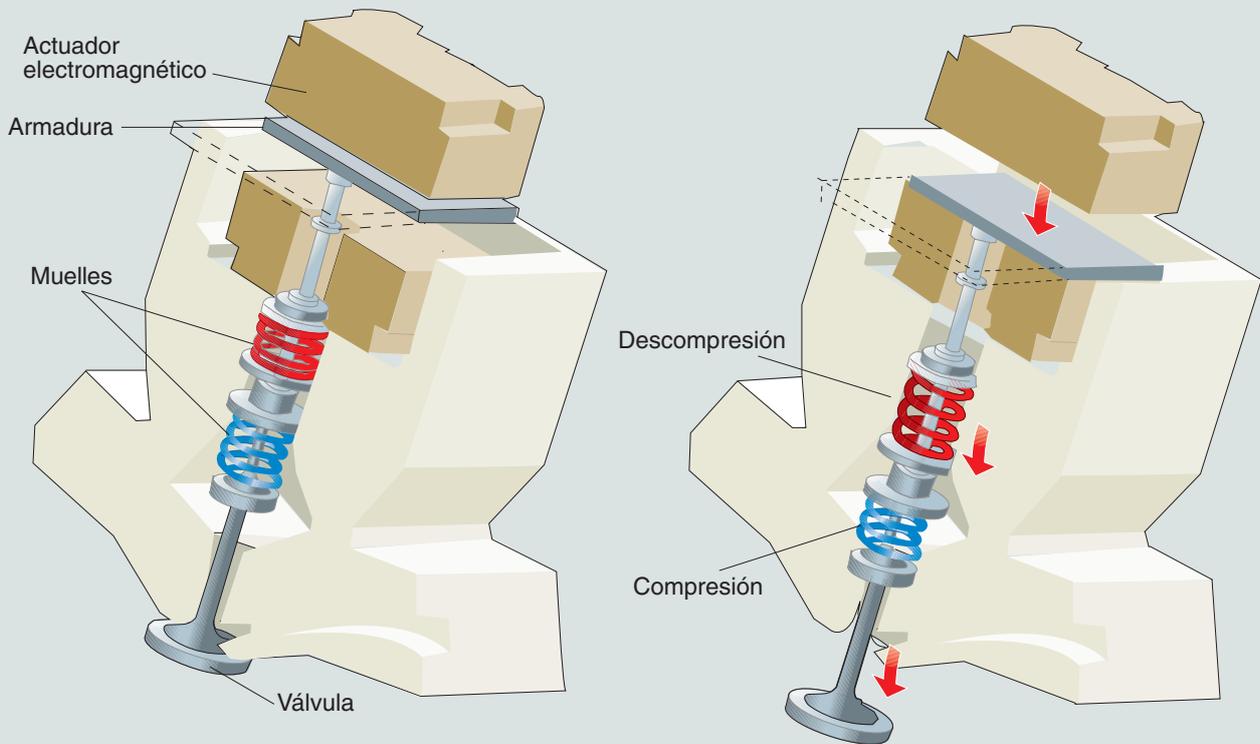


↑ **Figura 9.29.** Configuración del sistema de variador celular de aletas.

MUNDO TÉCNICO

Motor sin árbol de levas

Valeo reemplaza el árbol de levas por un actuador electromagnético. El sistema se denomina Smart Valve Actuation (SVA)



Cuando el actuador electromagnético superior es activado, la armadura se mantiene arriba. La válvula está en posición cerrada.

Cuando el actuador electromagnético superior interrumpe su campo magnético la armadura es empujada hacia abajo por los muelles. La actuación del electroimán inferior mantiene la válvula en posición abierta.

Características

- 20% de reducción en consumo de combustible.
- 20% de reducción de gases contaminantes.
- Optimización de la mezcla de aire y combustible.
- Cada válvula opera independientemente de las otras válvulas y de la posición del pistón.

Información suministrada por Valeo

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.km77.com/tecnica/motor/5valvulas/texto.asp>
- <http://www.mecanicavirtual.org/videos-mecanica-distribuc.htm>
- <http://video.google.com/videoplay?docid=995558453564873996>
- <http://www.mecanicavirtual.org/distribucion-variocam.htm>
- http://www.gti16.com/usr/coco/bmw_distrib/bmw_vanos.html
- <http://www.km77.com/marcas/honda/2006/civic/gama/t04.asp>
- <http://valvulita.com/home/sites/default/files/distribucionvariableVTEC.pdf>

10

Comprobación de la distribución

vamos a conocer...

1. Anomalías en la distribución
2. Comprobación de los componentes de la distribución
3. Proceso de montaje de la culata

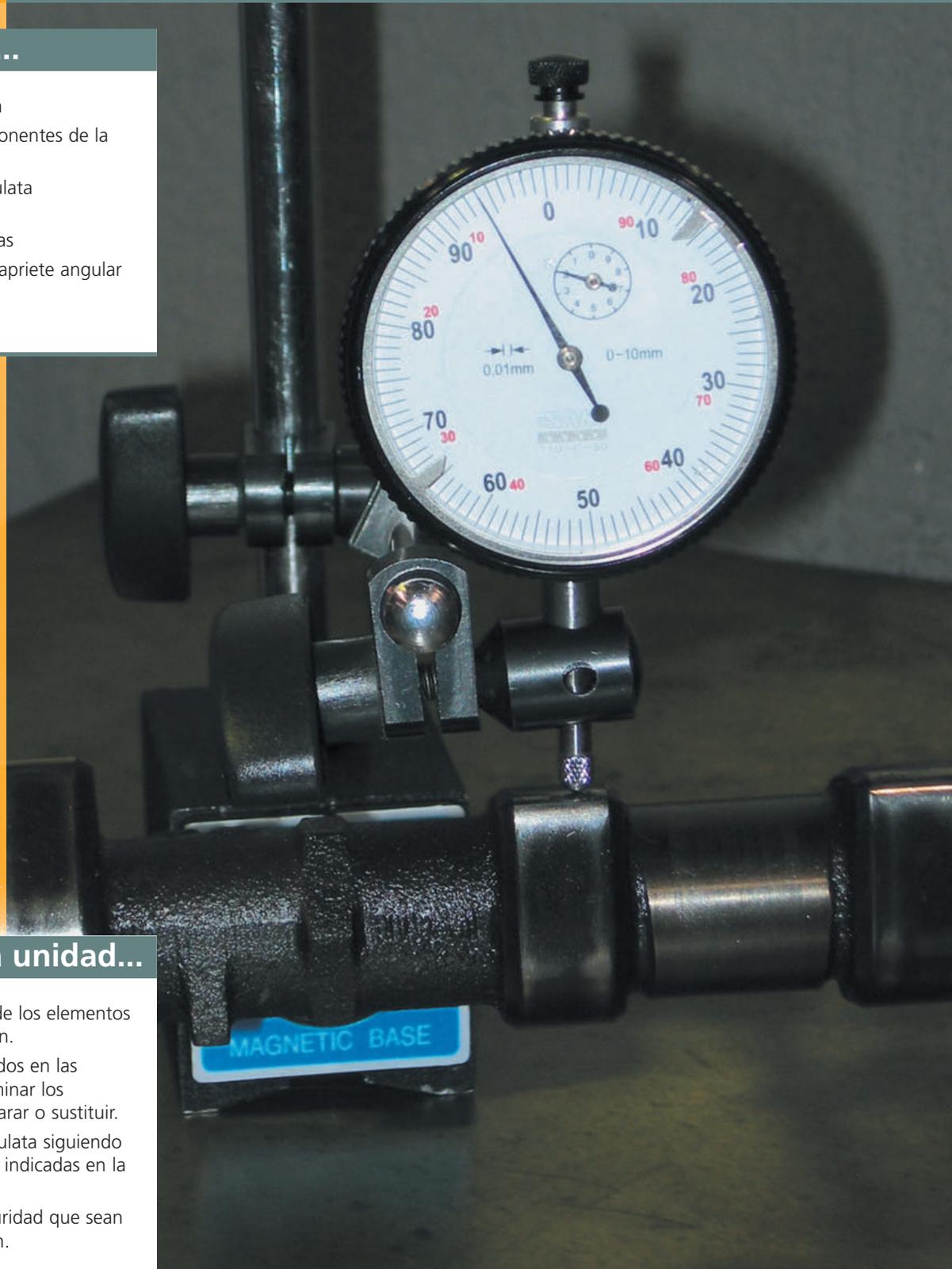
PRÁCTICA PROFESIONAL

Comprobación de las válvulas

Montaje de una culata con apriete angular

MUNDO TÉCNICO

Tornillos de culata



y al finalizar esta unidad...

- Realizarás la comprobación de los elementos que componen la distribución.
- Analizarás los valores obtenidos en las comprobaciones para determinar los elementos que se deben reparar o sustituir.
- Realizarás el montaje de la culata siguiendo los procedimientos y normas indicadas en la documentación técnica.
- Aplicarás las normas de seguridad que sean necesarias en cada operación.

situación de partida

Fernando acude al taller por unos problemas que ha detectado en el motor de su vehículo, concretamente una falta de potencia, un consumo más alto de lo normal y un ruido de motor anormal según su criterio. Una vez en el taller le atiende el mecánico y este empieza a diagnosticar la causa o las posibles causas de los problemas a los que alude Fernando.

Tras las verificaciones oportunas, detecta que el problema del ruido anormal del motor proviene de una holgura excesiva en el juego de válvulas, pero como es un motor que monta taqués hidráulicos la holgura existe porque dichos taqués están en mal estado, tras levantar la tapa de la culata y comprobar los taqués, se confirma que estos están defectuosos. Al mecánico no le parece que este problema sea el causante de la falta importante de potencia

y el aumento de consumo que le comentó el propietario, aunque sí es el responsable del ruido anormal del motor.

Continúa haciendo comprobaciones y detecta una falta de compresión en el motor debida a un problema de las válvulas. Desmonta la culata y observa una válvula de escape que se ha quemado junto con su asiento provocando fugas. Se procede al cambio y rectificado de los asientos de válvula (posteriormente su esmerilado). Se cambian las válvulas, los taqués hidráulicos y todos los elementos necesarios, concluyendo la reparación con el montaje de la culata apretándola en espiral tal y como dice el fabricante con su apriete angular quedando finalmente el vehículo en perfecto estado de funcionamiento.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Por qué crees que aumenta el consumo con estas averías?
2. ¿Consideras que con los taqués hidráulicos defectuosos habría una merma en la potencia del motor?
3. ¿Con qué herramienta se comprueba la compresión?
4. Cuando se recomienda el cambio de tornillos cada vez que se usen en una culata, ¿crees que hay que hacer un reapriete de estos después del calentamiento del motor? Razona la respuesta.
5. ¿Sabes lo que es un apriete angular y con qué herramienta lo hacemos?
6. ¿Cómo se identifican los tornillos de culata que son elásticos de los que no lo son?

1. Anomalías en la distribución

Las anomalías que se producen en el sistema de distribución generalmente afectan a las válvulas, guías y asientos, por ser estos elementos los que soportan unas condiciones de trabajo más duras. Las averías más frecuentes son:

- Pérdidas de compresión por fugas en los asientos de válvulas.
- Consumo de aceite excesivo por su paso a través de las guías.
- Desfases en el diagrama de distribución producidos por el mal funcionamiento del tensor o del juego de válvulas incorrecto.
- Ruidos en la distribución producidos por:
 - Juego de válvulas excesivo.
 - Taqués hidráulicos defectuosos.
 - Holgura en la cadena de transmisión.
 - Tensado incorrecto de la correa dentada.

caso práctico inicial

Los ruidos anormales producidos en el motor en el caso inicial, han sido los taques hidráulicos, que están defectuosos.

Una reparación completa de la culata comprende, además del rectificado del plano de culata, las siguientes operaciones:

Sustitución de guías de válvula, rectificado de asientos y sustitución de válvulas.

2. Comprobación de los componentes de la distribución

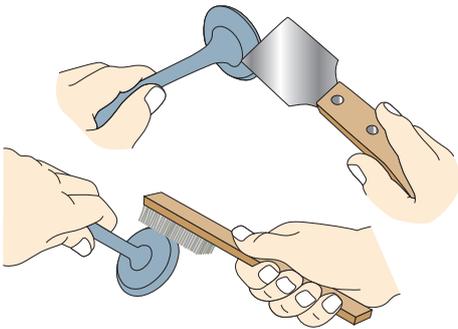
A continuación se describen los trabajos de comprobación y reparación de los componentes de la distribución:

- Válvulas, guías, asientos y muelles
- Taqués y balancines
- Árbol de levas
- Mando de la distribución

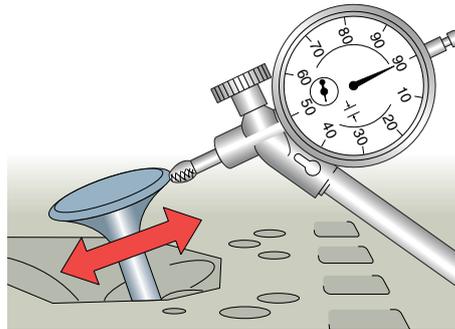
2.1. Válvulas

Se limpian las incrustaciones de carbonilla sobre las válvulas (figura 10.1) y mediante una inspección visual se verifica el grado de desgaste en el asiento y en el vástago. Después se realizan las siguientes comprobaciones:

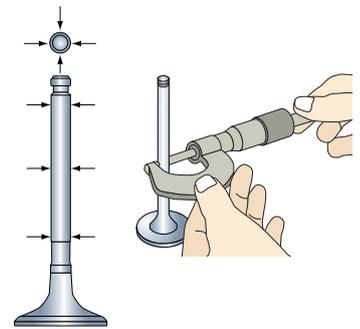
- **Holgura entre el vástago de la válvula y su guía** (figura 10.2): introducir la válvula en su guía correspondiente y montar un reloj comparador en posición horizontal sobre un soporte de base magnética. Levantar ligeramente la válvula de su asiento y apoyarla sobre el palpador manteniendo esta posición con una mano y con la otra, mover la válvula lateralmente en ambos sentidos. La desviación máxima de la aguja del reloj será la holgura entre el vástago y la guía. El juego máximo admitido está entre 0,10 y 0,15 mm.
- **Diámetro del vástago:** utilizando un micrómetro, se medirá el diámetro en la zona de rozamiento con la guía (figura 10.3) y se determinará el desgaste comparando con el diámetro original.



↑ Figura 10.1. Limpieza de las válvulas.



↑ Figura 10.2. Holgura entre vástago y guía de válvula.



↑ Figura 10.3. Diámetro del vástago.

Si no existe desgaste en el vástago la holgura estará provocada por el desgaste de la guía. En caso de que la holgura exceda la medida indicada por el fabricante es necesario sustituir la guía.

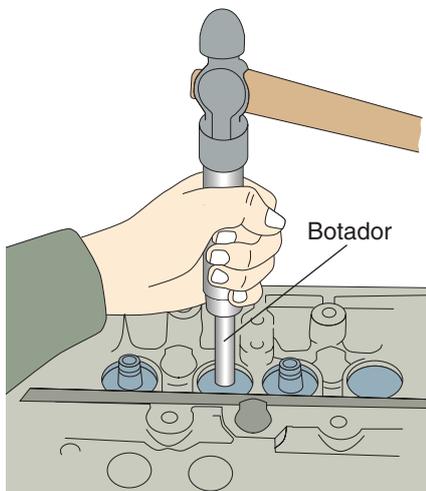
Sustitución de una guía de válvula

Se extrae la guía con un botador, que tenga el diámetro adecuado, y un martillo (figura 10.4).

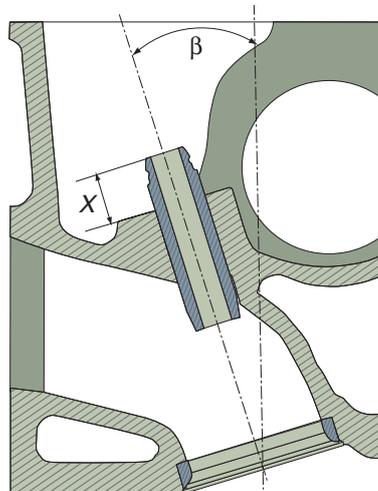
Las guías **se montan con interferencia**, es decir, el diámetro exterior de la guía es ligeramente mayor (0,05 mm) que el alojamiento donde se introduce.

Algunos fabricantes recomiendan calentar la culata hasta una temperatura de 80 °C o 90 °C, con el fin de dilatar el alojamiento.

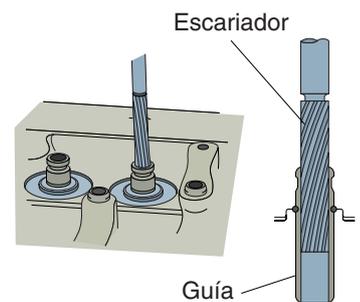
- Para montar una guía nueva es aconsejable usar una prensa; lubricar la guía y centrarla, interponer un botador de dimensiones adecuadas y aplicar presión. Introducir la guía hasta conseguir su posición exacta.
- **Comprobar la cota X** (figura 10.5).
- Una vez montada, es necesario pasar un escariador (figura 10.6) para conseguir el diámetro interno definitivo indicado en los datos técnicos del motor.
- **El juego de montaje entre guía y válvula nuevas** suele ser 0,03 mm para admisión y 0,04 mm para escape.
- Siempre que se sustituye una guía es necesario rectificar el asiento de válvula con el fin de que ambos queden centrados.



↑ Figura 10.4. Extracción de la guía de válvula.



↑ Figura 10.5. Cotas de posición de las guías de válvulas.



↑ Figura 10.6. Escariado de la guía.

Esmerilado de válvulas

Para determinar si es necesario el esmerilado se comprueba si las superficies de los asientos hacen contacto por completo. Un método muy sencillo consiste en rayar con un lápiz alrededor del asiento de la válvula, introducirla en su alojamiento y hacerla girar. El roce debe borrar todas las rayas del lápiz, si no es así, el ajuste entre ambas superficies no es correcto. Si el defecto es leve, bastará con un esmerilado; si es mayor, habrá que rectificar.

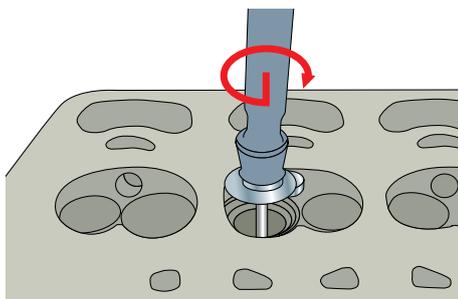
Siempre que se desmonta una culata después de un largo periodo de funcionamiento del motor, o cuando se han rectificando los asientos, es necesario hacer un esmerilado de válvulas.

Esta operación se hace con pasta de esmeril, formada por un abrasivo muy fino mezclado con aceite o agua.

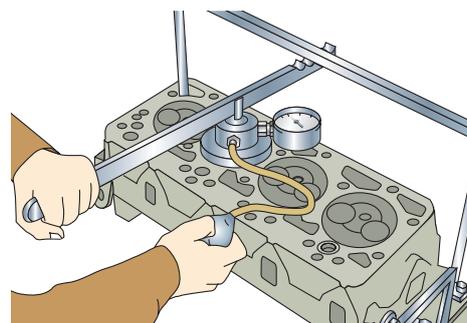
- Se impregna el asiento de la válvula en toda su superficie, se engrasa ligeramente el vástago y se introduce en la guía.
- Con la ayuda de una ventosa se presiona ligeramente, a la vez que se gira en ambos sentidos. A continuación se levanta y se cambia la posición en 90° (figura 10.7).
- El esmerilado termina cuando ambos asientos presentan una superficie regular y de color gris mate.

Hay que tener cuidado para que no caiga esmeril en el vástago, ya que lo desgastaría al realizar la operación.

Una vez terminado, se limpian las válvulas y la culata para eliminar el esmeril y se comprueba la hermeticidad.



↑ **Figura 10.7.** Esmerilado de válvulas.



↑ **Figura 10.8.** Prueba de hermeticidad de las válvulas.

Comprobación de la hermeticidad de las válvulas

Se monta la bujía o el inyector y se colocan las válvulas en sus respectivas guías pero sin montar los muelles.

La prueba se realiza con un comprobador de hermeticidad (figura 10.8) que consiste en una campana provista de un manómetro y un dispositivo para introducir aire a presión.

- Se sitúa la campana sobre la cámara de combustión y se bombea aire hasta que el manómetro indique 3 bar, aproximadamente.

Si la presión se mantiene, la estanqueidad es correcta; si existen pérdidas de presión, hay que volver a esmerilar.

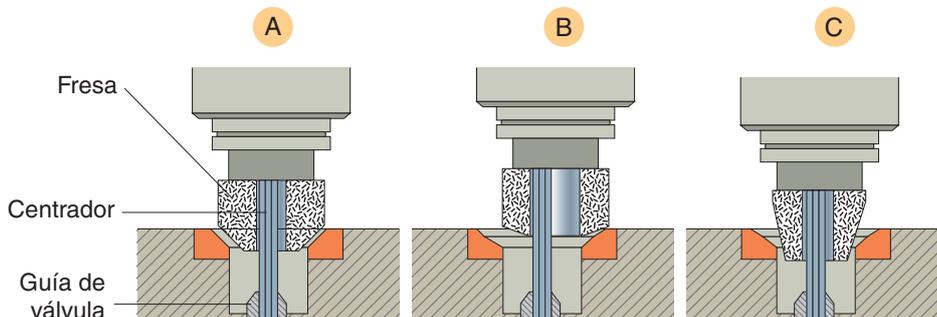
- Otro método más sencillo, aunque menos preciso, consiste en posicionar la culata con las cámaras de combustión hacia arriba y verter gasolina hasta cubrir la cabeza de las válvulas.

Se espera un momento y se comprueba que no haya filtraciones por los conductos de admisión y escape.

Rectificado de los asientos de válvula en la culata

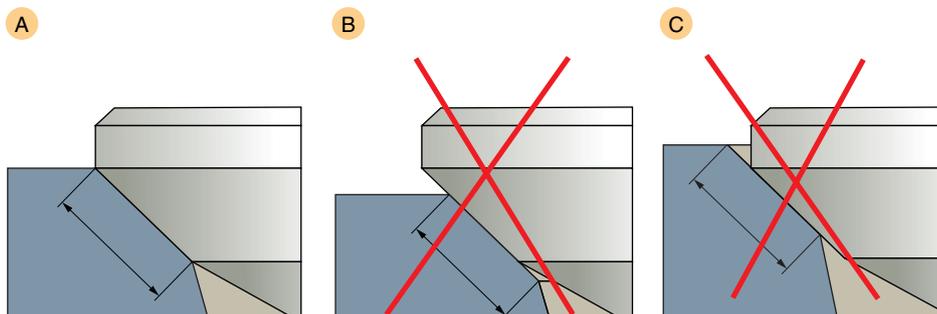
Si los asientos están en mal estado es necesario rectificarlos. Esta operación se realiza mediante fresas o muelas de abrasivo con los mismos ángulos que el asiento a rectificar. Estas fresas van provistas de un eje centrador que se introduce en la guía con el objeto de que el rectificado se lleve a cabo con respecto al eje de la guía.

Se debe disponer de tres fresas o muelas (figura 10.9) con los ángulos de asiento (A), de entrada (B) y de salida (C), y de ejes centradores con el diámetro apropiado para las guías.



↑ Figura 10.9. Rectificado del asiento de válvula.

- Se comienza rectificando el asiento a 45° o a 60° , hasta dejarlo perfectamente liso, arrancando la menor cantidad posible de material. Esta operación aumenta el ancho del asiento, por lo que es necesario llevarlo a su medida y centrarlo mediante los ángulos correctores (figura 10.11).



↑ Figura 10.11. Posición de contacto de la válvula en su asiento. Las posiciones B y C son incorrectas.

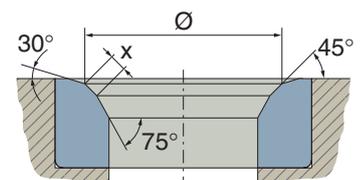
- Primero, se colocará el ángulo de entrada de 20° a 30° mediante la fresa adecuada y, a continuación, el ángulo de salida a 75° hasta conseguir la medida del ancho del asiento (X-figura 10.12) indicado en los datos técnicos, y que está entre 1,2 y 2 mm. Suele ser mayor para la válvula de escape con el fin de mejorar la evacuación de calor.



↑ Figura 10.10. Rectificado del asiento de válvula.

caso práctico inicial

La falta de potencia era un problema de la válvula de escape y el asiento que estaban quemados, por lo que hubo que rectificar los asientos de la culata.



↑ Figura 10.12. Cotas de rectificado del asiento.

- Después de rectificar es necesario hacer un esmerilado para terminar de ajustar las superficies de ambos asientos. A continuación se deberá limpiar escrupulosamente la culata antes de montarla.

El rectificado del asiento modifica la altura de la cabeza de la válvula respecto al plano de junta y la del vástago respecto al empujador, por lo que habrá que respetar la medida máxima de rectificado recomendada por el fabricante según las características de la culata.

En caso de montar taqués hidráulicos, la altura de la cola de la válvula es especialmente importante, ya que de sobrepasarse la cota máxima admisible, el taqué no podría realizar la compensación hidráulica del juego de válvulas y habría que sustituir la culata.

Reacondicionamiento de la culata

Las operaciones de reacondicionamiento de la culata se realizan en talleres especializados que cuentan con máquinas rectificadoras y utillaje específico que hacen rentable este tipo de trabajos.

El reacondicionado de la culata comprende:

Planificado de la superficie, rectificado de los asientos y sustitución de guías de válvula o de los asientos, si fuera necesario se sustituye el conjunto de válvulas.

Rectificado de válvulas

El rectificado del asiento de la cabeza de la válvula se realiza en una máquina rectificadora (figura 10.13) con una muela de esmeril de grano muy fino.

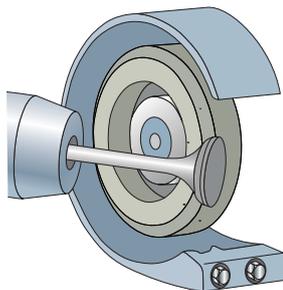
Se ajusta el ángulo del asiento y se rectifica hasta conseguir una superficie uniforme en todo el asiento, arrancando la menor cantidad de material posible.

El espesor del borde de la cabeza de la válvula después del rectificado no debe ser inferior a 0,8 mm (figura 10.14).

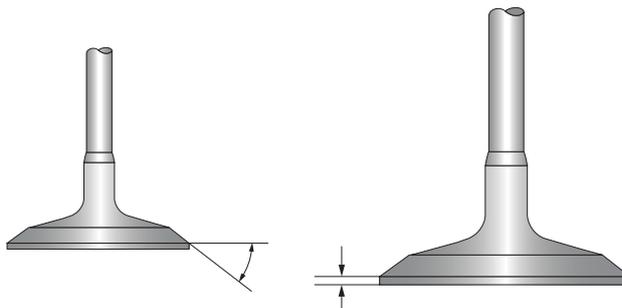
Actualmente esta operación solo se realiza en motores Diesel de gran cilindrada donde este tipo de trabajos es aún rentable. En motores para turismos es más práctico sustituir las válvulas.

seguridad

Siempre que usemos piedras de esmeril, es necesario la utilización de gafas y guantes para protegernos de las proyecciones.



↑ Figura 10.13. Rectificado de válvulas.



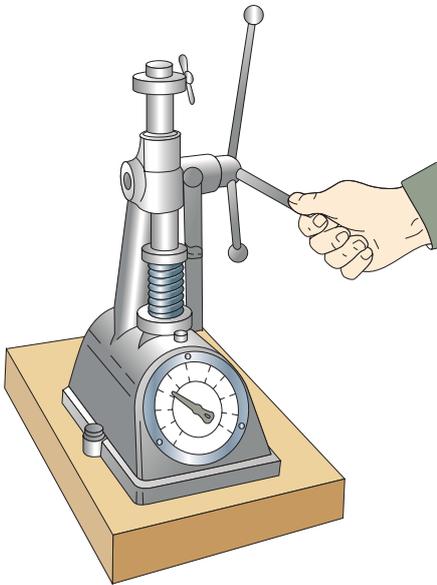
↑ Figura 10.14. Espesor del borde de la cabeza de válvula.

2.2. Muelles

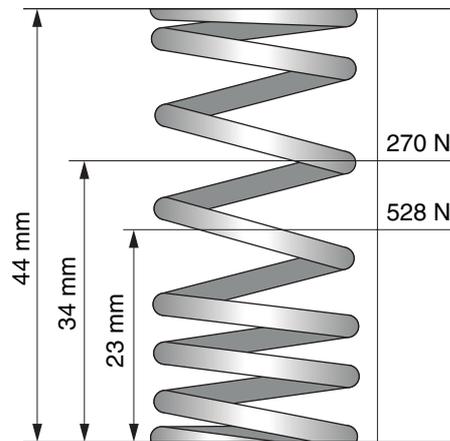
Para comprobar la fuerza de los muelles es necesario medir la deformación que sufren bajo una determinada carga con un aparato comprobador de muelles (figura 10.15).

Por ejemplo, para un muelle (figura 10.16) cuyos datos técnicos sean:

- Altura libre: 44 mm.
- Altura bajo 270 N = 34 mm.
- Altura bajo 528 N = 23 mm.



↑ **Figura 10.15.** Comprobador de muelles de válvulas.



↑ **Figura 10.16.** Verificación de la fuerza de los muelles.

Se mide la altura libre del muelle. A continuación con el muelle en el comprobador se aplica una fuerza de 270 N y se comprueba que pasa a tener una altura de 34 mm. Se verifican los demás datos.

Si las alturas son menores es debido a que el muelle ha perdido elasticidad y no tendrá fuerza suficiente para cerrar las válvulas de forma eficaz. Será necesario cambiar todo el juego de muelles aunque el fallo se detecte solamente en uno.

2.3. Taqués

Los taqués tienen que deslizarse en sus alojamientos sin que tiendan a agarrarse en ningún punto.

Deben presentar todas sus caras pulidas, sin señales de desgaste en la zona de rozamiento con la leva, en caso contrario, se deberán sustituir los taqués.

El juego de montaje se obtiene restando la medida del diámetro del taqué y el del alojamiento (0,02 a 0,04 mm).

caso práctico inicial

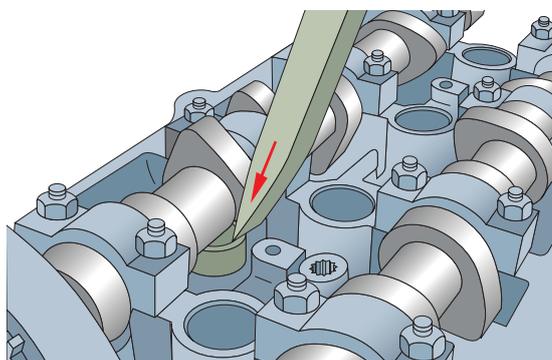
Mediante un proceso de verificación se detectan los defectos en los taqués hidráulicos que hacen ruido.

Taqués hidráulicos

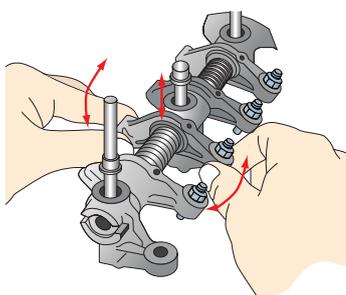
Es normal que los taqués hidráulicos puedan producir ruido durante los primeros momentos de funcionamiento hasta que su carga de aceite se completa. Si el ruido no desaparece y se nota una falta de potencia se debe efectuar un control sobre los taqués.

El control de los taqués hidráulicos se realiza con el motor montado. Es necesario arrancar el motor y llevarlo a su temperatura de funcionamiento (conexión del electroventilador). Después, se pone el motor a un régimen de 2.500 rpm y se comprueba si persiste el ruido de taqués. Si es así, se debe parar el motor y desmontar la tapa de la culata y proceder como se indica a continuación:

- Girar manualmente el motor hasta que el taqué a comprobar quede libre de la presión de la leva.
- Con una cuña de madera o plástico empujar hacia abajo el taqué (figura 10.17). La carrera en vacío no debe ser superior a la medida que indiquen los datos técnicos, de lo contrario, se tendrá que sustituir.
- La medida varía en función de las características del taqué y suele ser de 0,2 mm.



↑ Figura 10.17. Control de los taqués hidráulicos.



↑ Figura 10.18. Comprobación de la holgura de los balancines.

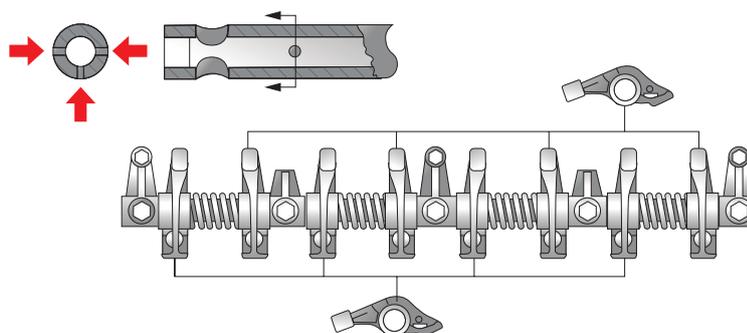
Balancines

Para comprobar si existe una holgura excesiva entre el eje y los balancines, se deben mover manualmente (figura 10.18).

Si hay holgura se deberán desmontar los balancines de su eje quitando el tope de uno de sus extremos. Se extraerán los balancines, los muelles separadores y los soportes del eje.

Mediante una inspección visual se comprobará que el eje y los balancines no presentan señales de excesivo desgaste en sus zonas de trabajo.

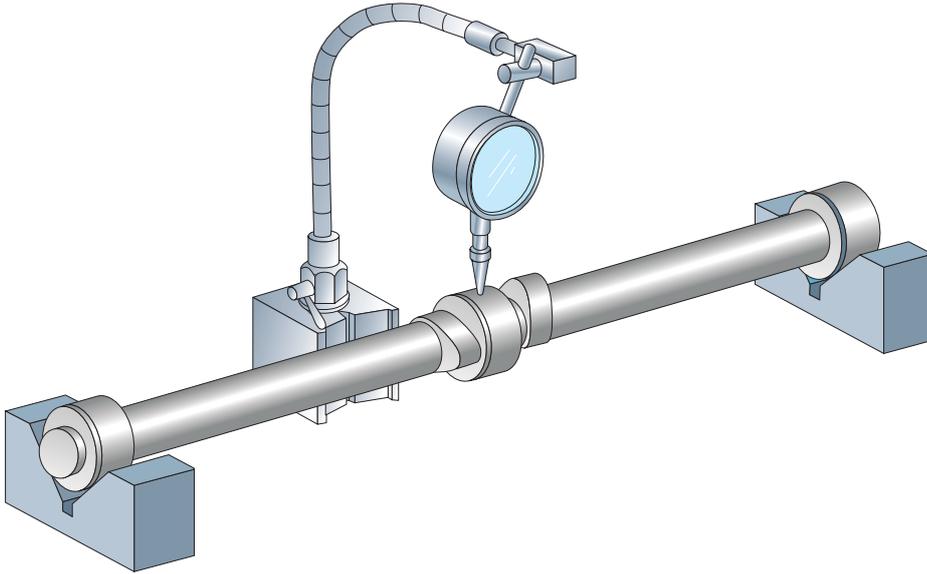
Montar todos los elementos sobre el eje conservando su posición (figura 10.19).



↑ Figura 10.19. Montaje de los balancines en el eje.

2.4. Árbol de levas

- **Comprobar la perfecta configuración** y el estado de pulimentación de cada una de las levas y la zona de rodadura de los apoyos.
- **Excentricidad del apoyo central** (figura 10.20):

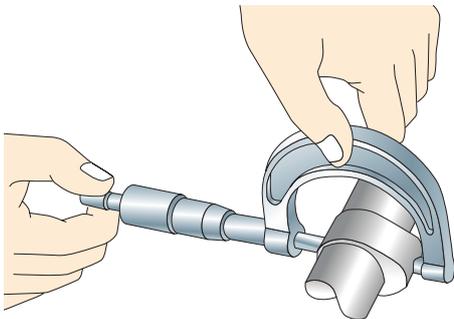


↑ **Figura 10.20.** Excentricidad del apoyo central.

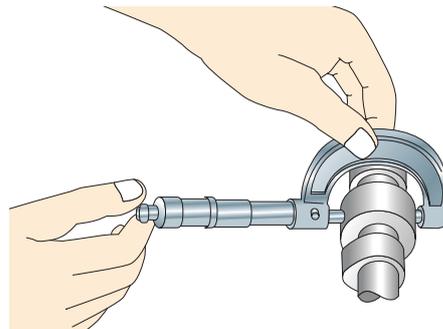
- Colocar el árbol sobre dos soportes en V y situar el palpador de un reloj comparador sobre el apoyo central.
- Obtener la desviación máxima de la aguja al girar el árbol una vuelta completa.

La excentricidad no debe ser superior a la indicada en los datos técnicos del motor (menor de 0,1 mm). Si la medida obtenida fuera mayor se sustituirá el árbol de levas.

- **Medir el alzado de las levas:** con el mismo reloj comparador, apoyando el palpador sobre las levas, o bien midiendo su altura con un micrómetro (figura 10.21). Comparar con la medida de los datos técnicos y verificar que no se ha producido desgaste.
- **Diámetro de los apoyos del árbol de levas** (figura 10.22): se mide con un micrómetro. La medida ha de estar dentro de la tolerancia indicada en los datos técnicos.



↑ **Figura 10.21.** Alzado de levas.



↑ **Figura 10.22.** Diámetro de los apoyos del árbol de levas.

- **Diámetro de los cojinetes en el bloque o en la culata:**

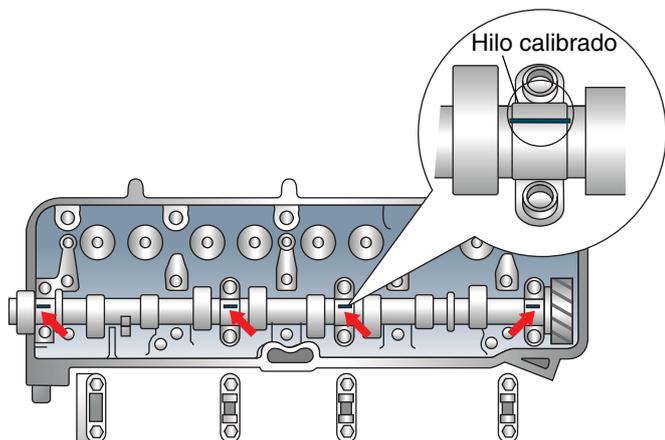
- En caso de árbol de levas en culata, montado con semicojinetes, se deberá montar las tapas sin el árbol y apretarlas a su par.
- Con un alexómetro y un reloj comparador, se toma la medida de dos diámetros a 90° , uno en posición vertical y otro horizontal, procurando evitar la unión de la tapa y los orificios de engrase.

Debido a los esfuerzos radiales que soportan los cojinetes se produce en ellos un ovalamiento. El mayor desgaste se localiza en el diámetro vertical.

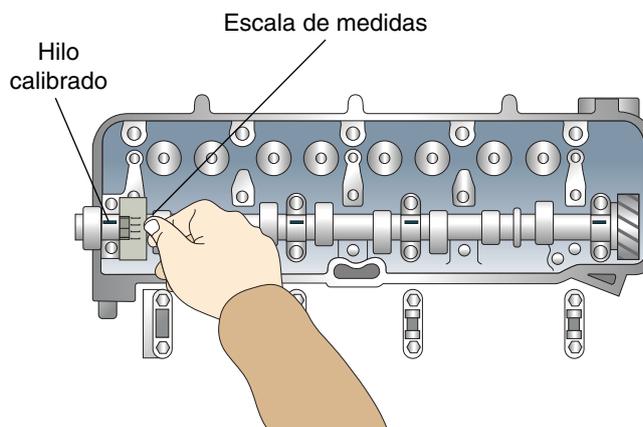
- **Ovalamiento.** La diferencia entre los dos diámetros es el valor del ovalamiento, que no debe ser superior a 0,05 mm.
- **Juego de montaje entre cojinetes y apoyos del árbol de levas.** Se halla la diferencia entre el mayor diámetro del cojinete y el menor diámetro del apoyo. Este juego radial será como máximo de 0,1 mm.

Existe otro método para obtener el juego radial utilizando el hilo calibrado «Plastigage», aplicable solamente cuando el árbol se fija mediante semicojinetes desmontables. El procedimiento es el siguiente:

- Colocar el árbol de levas en su alojamiento.
- Poner sobre cada apoyo un hilo calibrado en posición longitudinal (figura 10.23), con una medida ligeramente inferior al ancho del apoyo.
- Poner las tapas y apretar el par correspondiente.
- Extraer las tapas y comprobar la medida que ha tomado el ancho del hilo calibrado, comparando con la escala de medidas que se suministra (figura 10.24).
- Una vez tomadas todas las medidas, limpiar los restos de hilos que hayan quedado adheridos.

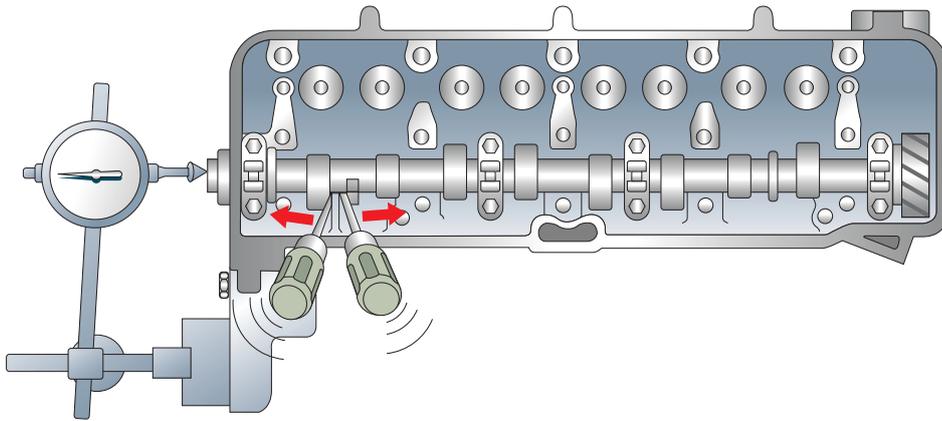


↑ **Figura 10.23.** Colocación del hilo calibrado.



↑ **Figura 10.24.** Comparación del hilo con la escala de medidas.

- **Juego axial del árbol de levas.** Se comprueba una vez montado y apretado a su par y antes de acoplar el sistema de transmisión (cadena o correa).
 - Se monta un reloj comparador, fijado mediante base magnética (figura 10.25). Después se apoya el palpador en el extremo del árbol y se apalanca en ambos sentidos obligándolo a desplazarse axialmente.
 - Se toma la medida de la desviación máxima de la aguja y se compara con los datos del fabricante. Esta medida normalmente se encuentra entre 0,06 y 0,15 mm.



↑ Figura 10.25. Juego axial del árbol de levas.

2.5. Mando de la distribución

Accionamiento por piñones

Para su correcto funcionamiento deberá comprobarse el estado de conservación de los dientes de cada piñón.

- La holgura entre dientes de los piñones engranados:
 - Introducir una galga de espesores entre los dientes.
 - Otro método consiste en colocar el palpador de un reloj comparador perpendicular al flanco de un diente. Después se hace girar el piñón en ambos sentidos mientras se inmoviliza el otro piñón.
- La perfecta alineación de todo el tren de engranajes.
- La sincronización de todo el mecanismo, según las marcas de los distintos piñones.

Accionamiento por cadena

Para su correcto funcionamiento se deberá comprobar:

- El estado de conservación de los dientes de ambos piñones.
- La alineación entre los piñones.
- El estado de desgaste de la cadena.
- El estado de conservación del tensor y de las guías de la cadena.
- La perfecta sincronización de todo el mecanismo, según las marcas de piñones y cadena.

Accionamiento por correa dentada

Para su correcto funcionamiento se deberá comprobar:

- El estado de las ruedas dentadas y su alineación.
- El estado de la correa dentada.
- El estado del tensor y su correcta regulación. Un mal tensado hace que la correa produzca ruidos y que se deteriore prematuramente.
- Que no haya fugas de aceite por los retenes del árbol de levas ni del cigüeñal.
- La correcta sincronización de todo el mecanismo, según las marcas de las ruedas dentadas y la correa.

3. Proceso de montaje de la culata

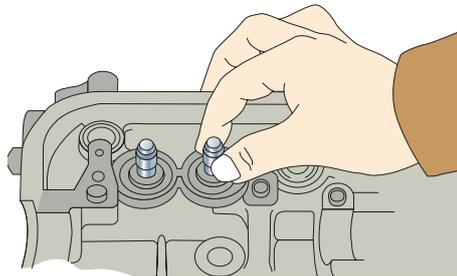
3.1. Armado de la culata

Una vez comprobada la culata y los elementos que sobre ella se montan, se procede al armado de la culata:

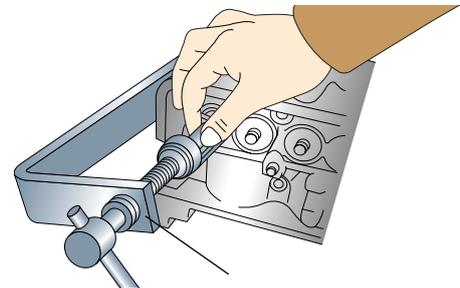
- **Montar las válvulas en el mismo lugar** que ocupaban al desmontar. Para ello se deberá:
 - Colocar retenes de aceite nuevos (figura 10.26) sobre las guías.
 - Lubricar el vástago de la válvula e introducirla en su guía correspondiente.
 - Colocar el platillo inferior, el muelle y el platillo superior de retención.
 - Comprimir el muelle con el desmontaválvulas (figura 10.27) hasta poder introducir los semiconos en la entalladura de la cola de la válvula y descomprimir el muelle.

seguridad

Asegurarse que los muelles han sido comprimidos con seguridad ya que de no ser así puede salir proyectado y producir un accidente.

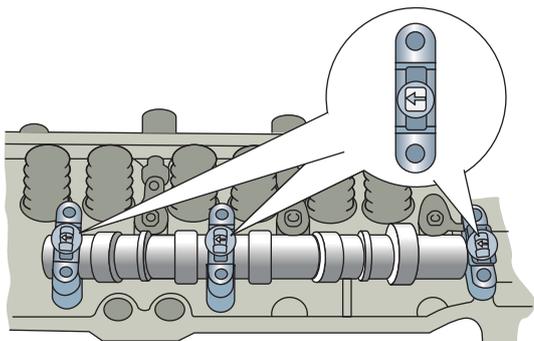


↑ **Figura 10.26.** Colocación de retenes en las guías de válvulas.



↑ **Figura 10.27.** Montaje de válvulas.

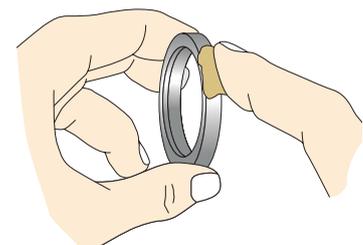
- Después de montadas todas las válvulas, golpear ligeramente sobre cada una de ellas con un mazo de plástico, con el fin de asegurar un correcto acoplamiento del conjunto.
- **Montar el árbol de levas.** Para ello se procederá a:
 - Aceitar los apoyos y los cojinetes y colocar el árbol en su alojamiento sobre la culata.
 - Colocar las tapas de cojinetes respetando el número y posición (figura 10.28).
 - Cuando la transmisión se hace por correa dentada, se monta un retén de aceite en el cojinete del lado de la correa.
 - Aplicar grasa sobre el retén (figura 10.29) e introducirlo en su alojamiento (figura 10.30), asegurándose de que hace un buen asiento.

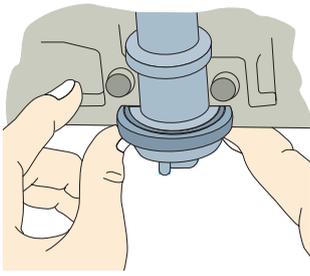


↑ **Figura 10.28.** Montaje del árbol de levas.

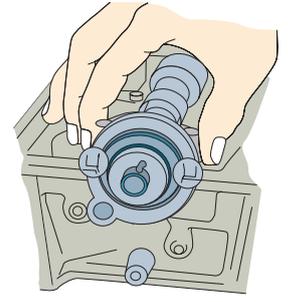
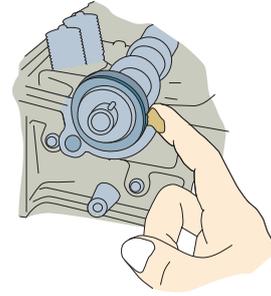
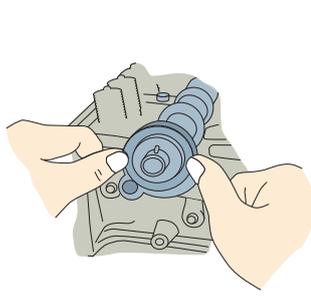


↑ **Figura 10.29.** Lubricación del retén del árbol de levas.

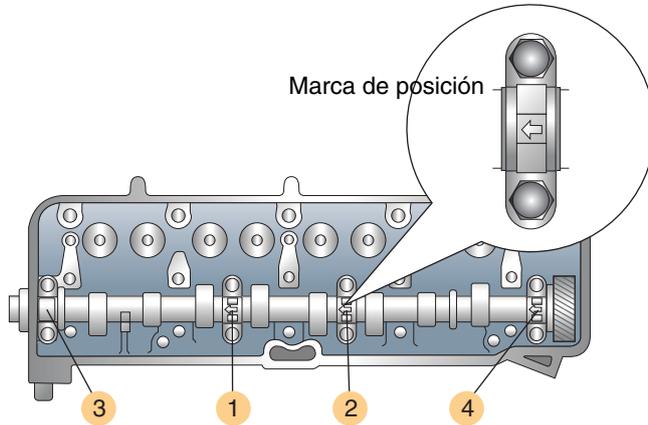




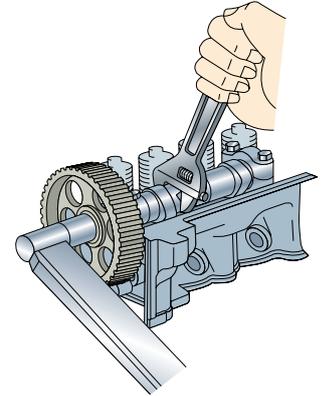
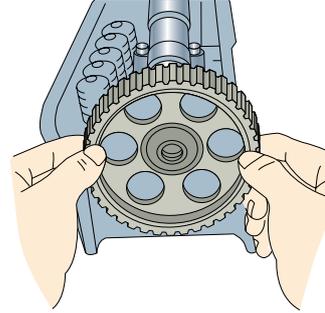
↑ Figura 10.30. Montaje del retén del árbol de levas.



↑ Figura 10.31. Sellado del semicojinete.

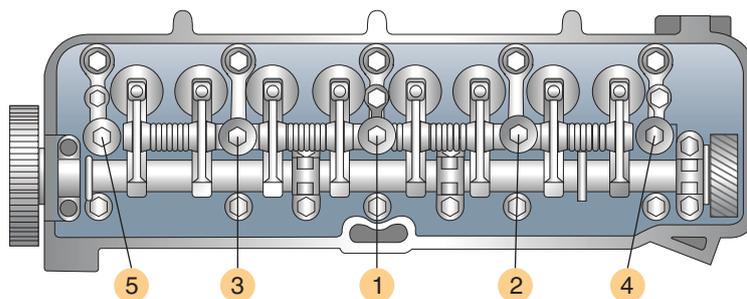


↑ Figura 10.32. Orden de apriete del árbol de levas.



↑ Figura 10.33. Montaje de la rueda dentada.

- Aplicar pasta selladora, del tipo indicado por el fabricante, sobre la zona plana del semicojinete (figura 10.31) y colocar la tapa.
- Apretar los tornillos al par indicado y en el orden correcto. Normalmente del centro hacia los extremos (figura 10.32).
- **Comprobar el juego axial del árbol de levas.** Apartado 2.4 (figura 10.25).
- **Montar la rueda dentada** (figura 10.33) en su única posición, para ello:
 - Introducir el tornillo de fijación con su arandela. Frenar el árbol con el útil adecuado y apretar el tornillo al par correspondiente.
- **Montar el árbol de balancines** (figura 10.34):
 - Apretar los tornillos progresivamente, y en el orden indicado por el fabricante, con el fin de comprimir los muelles sin que el eje sufra deformaciones.
- **Montar los colectores de admisión y escape** con sus juntas nuevas y apretar a su par.



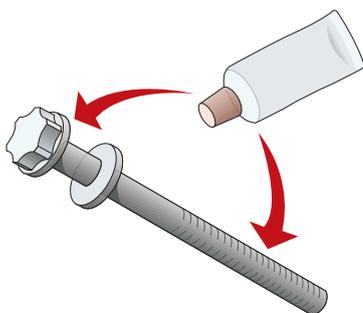
↑ Figura 10.34. Montaje del eje de balancines.

3.2. Montaje de la culata

- **Limpiar cuidadosamente** las superficies del bloque y de la culata. Limpiar los alojamientos de los tornillos en el bloque pasando un macho roscado.
- En motores Diesel medir la altura máxima de los pistones sobre el bloque para calcular el espesor de la junta a montar.
- **Colocar la junta de culata nueva** con sus marcas (Top, Olto, Oben, etc.) hacia arriba, de forma que puedan leerse.
 - No aplicar ningún producto sobre la junta (sellantes, grasa), ya que podrían perjudicarla.
- **Confrontar las marcas de calado** antes de colocar la culata, tanto en la rueda del cigüeñal como en la del árbol de levas (figura 10.35). Instalar la culata sobre el bloque.
- **Engrasar ligeramente las roscas** y la base de la cabeza de los tornillos (figura 10.35). Apretarlos a su par siguiendo el método indicado por el fabricante.
 - En motores con distribución OHC y DOHC, evitar girar el árbol de levas y el cigüeñal sin que se haya instalado la correa de distribución, ya que los pistones pueden chocar con las válvulas.



↑ **Figura 10.35.** Confrontar las marcas de calado.



↑ **Figura 10.36.** Zonas de engrase de los tornillos de culata.

caso práctico inicial

En el caso inicial, el fabricante del motor indicaba en la documentación técnica el apriete de la culata en espiral.

3.3. Apriete de los tornillos de culata

Dada la importancia de esta operación deberá de realizarse siempre siguiendo estrictamente las instrucciones que indique el fabricante en la documentación técnica.

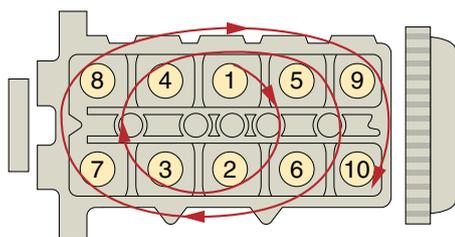
El uso de nuevos materiales en la fabricación de juntas de culata así como el nuevo diseño de tornillos de culata ha provocado cambios en los métodos de apriete de los motores actuales.

En los motores antiguos el proceso de apriete de la culata se hace con llave dinamométrica y generalmente es necesario un reapriete de los tornillos después de un corto periodo de funcionamiento (entre 1.000 y 1.500 km.) ya que el asentamiento de la junta disminuye su espesor y los tornillos pierden fuerza.

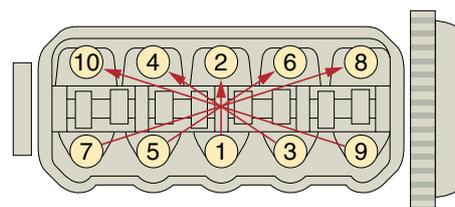
En los motores más actuales los tornillos de culata han sido diseñados para trabajar en la zona plástica, esto supone que la fuerte tracción que soportan puede causar deformación y alargamiento permanente, haciendo que los tornillos sean inservibles para un nuevo montaje.

Para estos tornillos se emplea el método de apriete angular y no necesitan ser reapretados. Se les reconoce por su cabeza de torx o de allen.

El orden de apriete se establece normalmente desde el centro de la culata hacia los extremos, en espiral (figura 10.37) o bien en cruz (figura 10.38).



↑ **Figura 10.37.** Orden de apriete de los tornillos de culata en espiral.



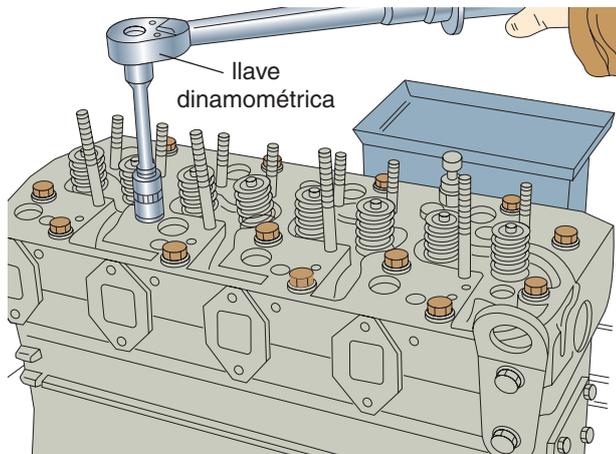
↑ **Figura 10.38.** Orden de apriete en cruz.

Métodos de apriete

Apriete dinamométrico

- Utilizando una llave dinamométrica (figura 10.39), apretar en varias etapas, aumentando el par en cada una de ellas. Siempre siguiendo el orden y los intervalos establecidos.
- En algunos casos es necesario reapretar después del calentamiento del motor, para ello se procederá del siguiente modo:
 - Hacer funcionar el motor hasta que alcance su temperatura de funcionamiento, pararlo y dejar que se enfríe. Aflojar cada tornillo 90° y posteriormente, se reaprieta al par prescrito.
 - Si el motor requiere un reapriete a los 1.000 km se actuará de la misma forma, aflojando 90° y volviendo a apretar con el último par.
- Las culatas de aluminio, por su alta dilatación térmica, deberán ser apretadas siempre en frío.

Con apriete dinamométrico los tornillos se pueden volver a utilizar en un segundo montaje siempre que cumplan las dimensiones exigidas por el fabricante.



↑ Figura 10.39. Apriete dinamométrico.

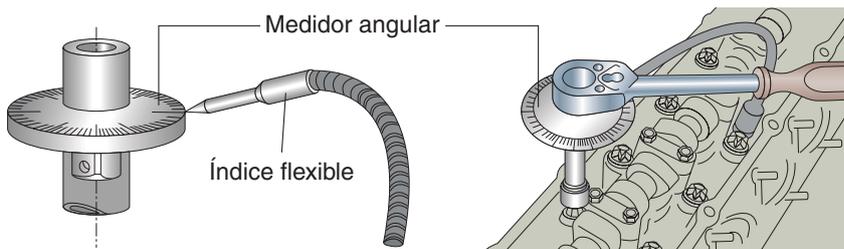


↑ Figura 10.40. Llave dinamométrica.

Apriete angular

Este método de apriete es el que se emplea en los motores actuales, la ventaja es que se obtienen aprietes muy uniformes ya que se aplica el mismo giro a todos los tornillos independientemente de la resistencia por fricción de cada uno de ellos. Para obtener buenos resultados se debe engrasar ligeramente las roscas y la base de la cabeza de los tornillos.

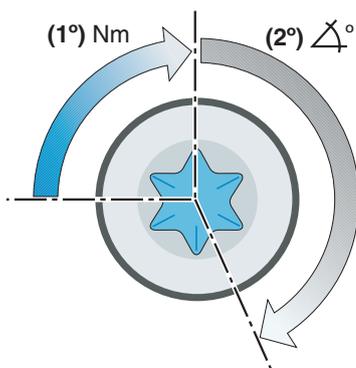
Se utiliza un medidor angular que consta de un sector graduado y un índice como referencia fija (figura 10.42).



↑ Figura 10.41. Apriete angular.



↑ Figura 10.42. Medidor angular.



↑ **Figura 10.43.** Apriete dinámico más apriete angular.

caso práctico inicial

La documentación técnica del fabricante indicaba el siguiente apriete angular: un preapriete a 20 Nm, a continuación 120° y para finalizar otros 120°, no hay reapriete posterior.

- Se aplica un par previo a todos los tornillos en el orden correcto con llave dinamométrica (entre 20 y 40 N)
- A continuación, con una llave provista de medidor angular se aplica a cada tornillo el ángulo de apriete determinado, siempre siguiendo el orden recomendado (figura 10.43).
- Con el método de apriete angular es imprescindible usar tornillos nuevos.

Ejemplos prácticos de apriete

Apriete dinamométrico

- Efectuar un apriete de 40 Nm en todos los tornillos en el orden correcto.
- En una segunda etapa, apretar a 70 Nm.
- Montar el motor y hacerlo funcionar durante 20 minutos. Pararlo y esperar dos horas para que se enfríe.
- Aflojar 90° cada tornillo y volver a apretar a 70 Nm.

Apriete angular

- Efectuar un preapriete a 20 Nm.
- Esperar tres minutos y aplicar un apriete angular de 180° en dos etapas. Girar, uno por uno, todos los tornillos 90°, y en una segunda etapa, girar otros 90°.
- Seguir siempre el orden precisado en la documentación técnica.

TOLERANCIA DE MEDIDAS EN LAS COMPROBACIONES Y LOS VALORES MEDIOS

Comprobaciones	Valores medios	Máximos
Válvulas		
Juego vástago-guía	0,02 - 0,06 mm	0,15 mm
Interferencia guía-alojamiento		0,05 mm
Taqués y balancines		
Juego radial de taqués	0,02 mm	0,05 mm
Juego radial de balancines	0,01 - 0,05 mm	0,10 mm
Árbol de levas		
Excentricidad del apoyo central		0,10 mm
Juego radial		0,10 mm
Juego axial	0,06 - 0,15mm	
Ovalización de cojinetes		0,05 mm
Ovalización de apoyos del árbol		0,02 mm

Estos datos son orientativos y solo se aplicarán cuando se desconozcan los datos técnicos del fabricante.

ACTIVIDADES FINALES

Examina la documentación técnica relativa a los elementos de distribución con el fin de conocer las normas y procedimientos más adecuados. Para ello consulta los valores originales así como los márgenes de tolerancia permitidos en las comprobaciones.

- 1. Realiza la comprobación de los siguientes elementos:
 - Válvulas, asientos y guías:
 - Holgura entre el vástago de la válvula y su guía.
 - Diámetro del vástago.
 - Realiza la sustitución de una guía de válvula.
 - Esmerilado y rectificado de asientos:
 - Realiza el esmerilado de válvulas.
 - Comprueba la hermeticidad de las válvulas.
 - Realiza el rectificado de los asientos de válvulas.
 - Muelles:
 - Comprueba la fuerza de los muelles y su altura libre.
 - Taqués:
 - Juego de montaje entre el taqué y su alojamiento.
 - Realiza el control de los taqués hidráulicos.
 - Balancines:
 - Inspección visual del eje y de los balancines.
 - Comprueba el juego de montaje entre el eje y los balancines.
 - Árbol de levas:
 - Inspección visual del árbol de levas.
 - Excentricidad del apoyo central.
 - Medida del alzado de levas.
 - Diámetro de los apoyos del árbol de levas.
 - Diámetro de los cojinetes en el bloque o en la culata.
 - Cálculo del ovalamiento máximo.
 - Cálculo del juego de montaje entre cojinetes y apoyos del árbol de levas.
 - Medida del juego axial del árbol de levas.
 - Mando de la distribución:
 - Estado de las ruedas dentadas y su alineación.
 - Estado de la cadena o correa dentada.
 - Estado del tensor y su correcta regulación.

ACTIVIDADES FINALES

- 2. Resuelve en tu cuaderno: anota los valores obtenidos en el primer ejercicio. Deberás apuntar los valores de origen que aparecen en los datos técnicos. En las tablas se anotarán los valores obtenidos en las comprobaciones.

VÁLVULAS

Diámetro original del vástago:

Válvula admisión:.....

Válvula escape:.....

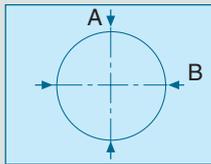
Holgura admisible vástago-guía:

	1		2		3		4	
	Adm	Esc	Adm	Esc	Adm	Esc	Adm	Esc
∅ Vástago								
Holgura vástago-guía								

ÁRBOL DE LEVAS

Excentricidad máxima admitida:

Holgura axial:



	∅ Cojinetes del árbol de levas				
	1	2	3	4	5
A					
B					
Ovalamto.					

	∅ Apoyos del árbol de levas				
	1	2	3	4	5
A					
B					
Ovalamto.					
Holg. radial					

- Obtén la holgura vástago-guía de las válvulas, el ovalamiento y la holgura de los cojinetes y los apoyos del árbol de levas.
- Compara los valores obtenidos con los datos técnicos para determinar qué elementos se deben reparar o sustituir.

- 3. Arma la culata, para ello deberás montar:

- Las válvulas conservando su posición.
- El árbol de levas y comprueba el juego axial.
- La rueda dentada.
- El árbol de balancines.
- Los colectores de admisión y escape.

- 4. Monta la culata sobre el motor y realiza el apriete de los tornillos.

- Coloca la junta de culata nueva.
- Confronta las marcas de calado y sitúa la culata en el bloque.
- Efectúa el apriete de los tornillos de culata siguiendo el orden y el método apropiados.

- 5. Cita las averías más frecuentes que se producen en el sistema de distribución.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Cuál suele ser el valor máximo admisible de la holgura entre la guía y el vástago de válvula?

- a) 0,06 mm.
- b) 0,15 mm.
- c) 0,5 mm.
- d) 0,02 mm.

2 ¿Qué características deben presentar los asientos de válvula esmerilados?

- a) Superficies pulidas y brillantes.
- b) Superficies rugosas.
- c) Superficies regulares y de color gris mate.
- d) Una gran superficie de contacto.

3 Las guías de válvula:

- a) Van soldadas a la culata.
- b) Se montan con interferencia sobre la culata.
- c) Quedan inmovilizadas mediante un producto fijador.
- d) Se montan con holgura sobre la culata.

4 ¿Qué función tienen los ángulos correctores en el rectificado de asientos de válvula en la culata?

- a) Variar el ángulo del asiento.
- b) Aumentar la superficie del asiento
- c) Corregir el alzado de la válvula.
- d) Corregir la posición y dimensiones del asiento.

5 ¿Cómo se comprueba la fuerza de los muelles?

- a) Se mide su diámetro y su altura libre.
- b) Se mide la fuerza necesaria para comprimirlo al máximo.
- c) Se mide su deformación bajo una determinada carga.
- d) Se comprueba que la válvula cierre correctamente.

6 Antes de montar la culata, en los motores OHC se deben enfrentar las marcas de calado de la distribución. ¿Por qué?

- a) Para evitar que choquen los pistones con las válvulas.
- b) Porque es más fácil mover el cigüeñal.
- c) Para no deteriorar la correa en su montaje.
- d) Solamente es necesario en los motores Diesel.

7 ¿Por qué motivo en algunos casos no pueden volver a utilizarse los tornillos de la culata?

- a) Debido a que la tracción disminuye su longitud y aumenta su diámetro.
- b) Debido a que la tracción aumenta su longitud y disminuye su diámetro.
- c) Debido a que se deteriora la rosca de los tornillos.
- d) Debido a que los tornillos se rompen al extraerlos.

8 ¿Qué métodos de apriete se pueden aplicar en la culata?

- a) En espiral o en cruz.
- b) En frío o en caliente.
- c) Dinamométrico o angular.
- d) El de fábrica y otro a los 1.000 km.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Desmontaválvulas
- Ventosas y esmeril
- Útil para montaje de retenes
- Reloj comparador y base magnética

MATERIAL

- Culata

Comprobación de las válvulas

OBJETIVO

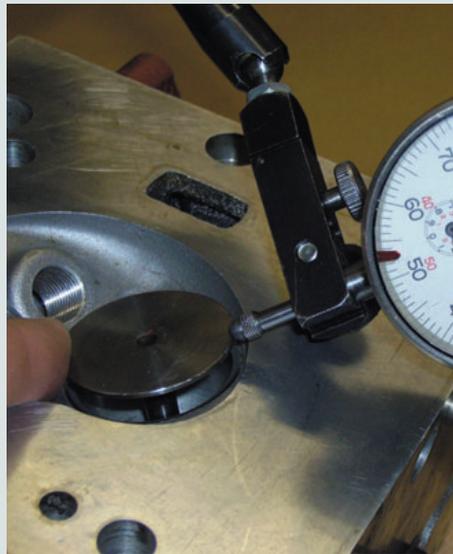
Comprobar la holgura de las válvulas en su guía y realizar el esmerilado de los asientos.

DESARROLLO

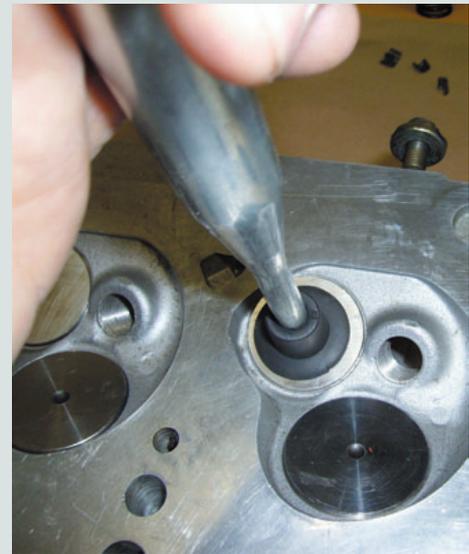
1. Se desmontan las válvulas con un extractor y se marca la posición de cada una de ellas. Se limpian y se ordenan junto a los muelles.
2. Se introducen las válvulas una por una en sus alojamientos, se apoya lateralmente el palpador de un reloj comparador y se comprueba la holgura entre el vástago y su guía.
3. Se esmerilan las válvulas, para ello se engrasa el vástago, se pone pasta de esmeril alrededor del asiento y se introduce en su guía. Con ayuda de una ventosa se realiza el esmerilado hasta conseguir una superficie uniforme y de color gris mate.
4. Cuando se haya realizado el esmerilado de todas las válvulas se comprueba la hermeticidad.
5. A continuación se limpian los restos de esmeril en la culata y en las válvulas. Se instalan retenes nuevos en las guías y se montan las válvulas con sus muelles conservando su posición.



↑ Figura 10.44. Desmontaje de válvulas.



↑ Figura 10.45. Holgura lateral.



↑ Figura 10.46. Esmerilado de válvulas.

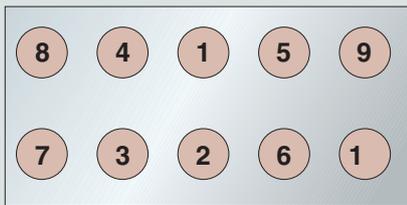
Montaje de una culata con apriete angular

OBJETIVO

Manejar correctamente los útiles necesarios para realizar el apriete angular siguiendo el procedimiento adecuado.

DESARROLLO

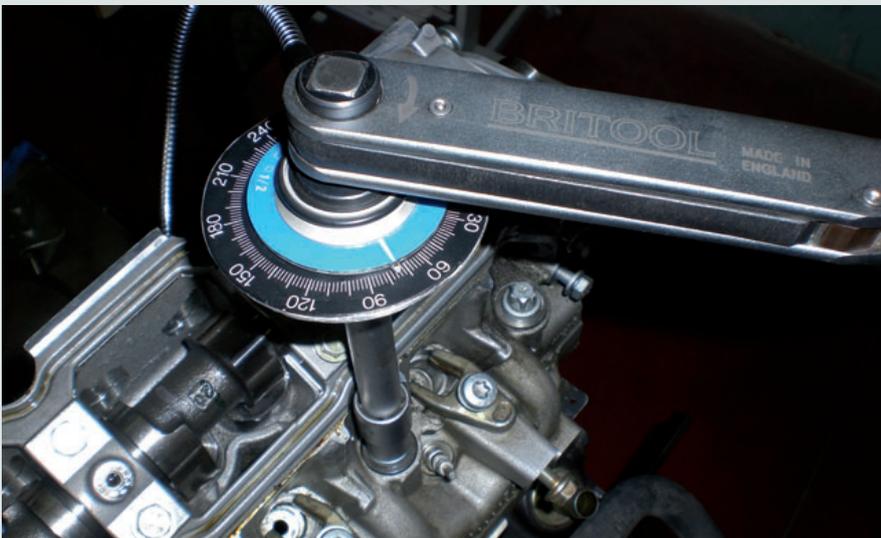
- Una vez limpias las superficies de culata y bloque se selecciona la junta adecuada y se coloca sobre el bloque motor con las marcas hacia arriba.
- Se posicionan las marcas de calado de la distribución y se monta la culata.
- Se usarán tornillos nuevos, antes de montarlos se engrasan ligeramente en la rosca y debajo de la cabeza. Se introducen en sus alojamientos y se roscan manualmente.
- Consultar el orden de apriete y el procedimiento recomendado.
- Apretar la culata en tres pasos siguiendo el orden de apriete.



Primer apriete	3 daN.m.
Segundo apriete	115°
Tercer apriete	115°

↑ Figura 10.47.

- Un primer apriete de aproximación con llave dinamométrica a 3 daN. m.
- Segundo y tercer apriete angular a 115° cada uno.



← Figura 10.48.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Llave dinamométrica
- Medidor angular

MATERIAL

- Motor
- Documentación técnica

MUNDO TÉCNICO

Tornillos de Culata

Introducción

A partir de la Teoría de Elementos Finitos se diseñaron modelos matemáticos que permiten simular y predecir a través de un ordenador el comportamiento real de un elemento mecánico en lugar de utilizar la anticuada práctica de la prueba y error.

Sacando provecho de esta tecnología a la que se suma el paralelo y exponencial desarrollo de materiales más resistentes y livianos y la utilización de sistemas de gestión electrónica, los ingenieros automotrices avanzan día a día en el diseño y desarrollo de motores más potentes, económicos, livianos y durables.

No obstante a raíz de las grandes potencias desarrolladas principalmente en motores Turbo Diesel, los órganos mecánicos de transmisión de movimiento y estanqueidad se hallan sometidos a extremas sollicitaciones dinámicas y choque térmicas.

El incremento de las cargas dinámicas y térmicas y la necesidad de disminuir el peso de los componentes aumentó dramáticamente las exigencias de fatiga de todos los vínculos de unión internos del motor.

Diversos trabajos de investigación concluyeron en que la mayor resistencia a la fatiga se logra con un tornillo ajustado ligeramente sobrepasando el límite elástico del material, es decir dentro del rango plástico, donde se produce una deformación permanente del mismo.

En el caso de la fijación de la culata de cilindros, la necesidad de garantizar una perfecta estanqueidad se vio beneficiada con la nueva tecnología de ajuste dentro del rango plástico, lo cual a su vez elimina la necesidad de reajustar los tornillos después de las primeras horas de marcha, tal como ocurría con los tornillos antiguos calculados para ajuste por debajo del límite elástico del material.

La importancia de reemplazar los tornillos

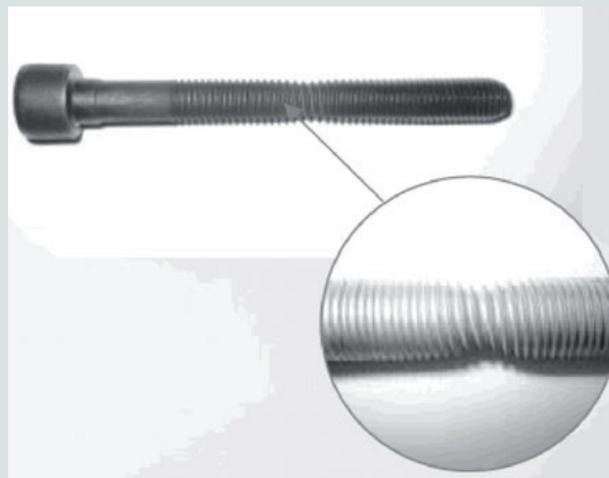
Como hemos explicado, la mayor vida útil de los tornillos se consigue cuando estos son ajustados hasta la zona plástica. Como resultado de esto el tornillo queda con una elongación permanente de hasta 3 mm según el caso luego de su instalación.

Permaneciendo el volumen de la pieza constante todo incremento del largo implica una disminución del diámetro y por ende de la sección resistente de la pieza.

Por esta razón, tras su remoción, una vez dilatados los tornillos presentan una sección resistente menor, con lo cual la pieza continuará estirándose hasta su rotura al intentar volver reinstalarla con la carga original especificada.

Solamente un tornillo nuevo con las propiedades del material original, sin haber sufrido esfuerzos de fatiga y ajustado angularmente reproduciendo las condiciones de instalación original en línea puede garantizar las condiciones de estanqueidad requeridas por la junta de culata.

Las roscas hembra en el bloque deben ser limpiadas y repasadas y se deberá aplicar una grasa lubricante para garantizar una correcta medición del ángulo de ajuste.

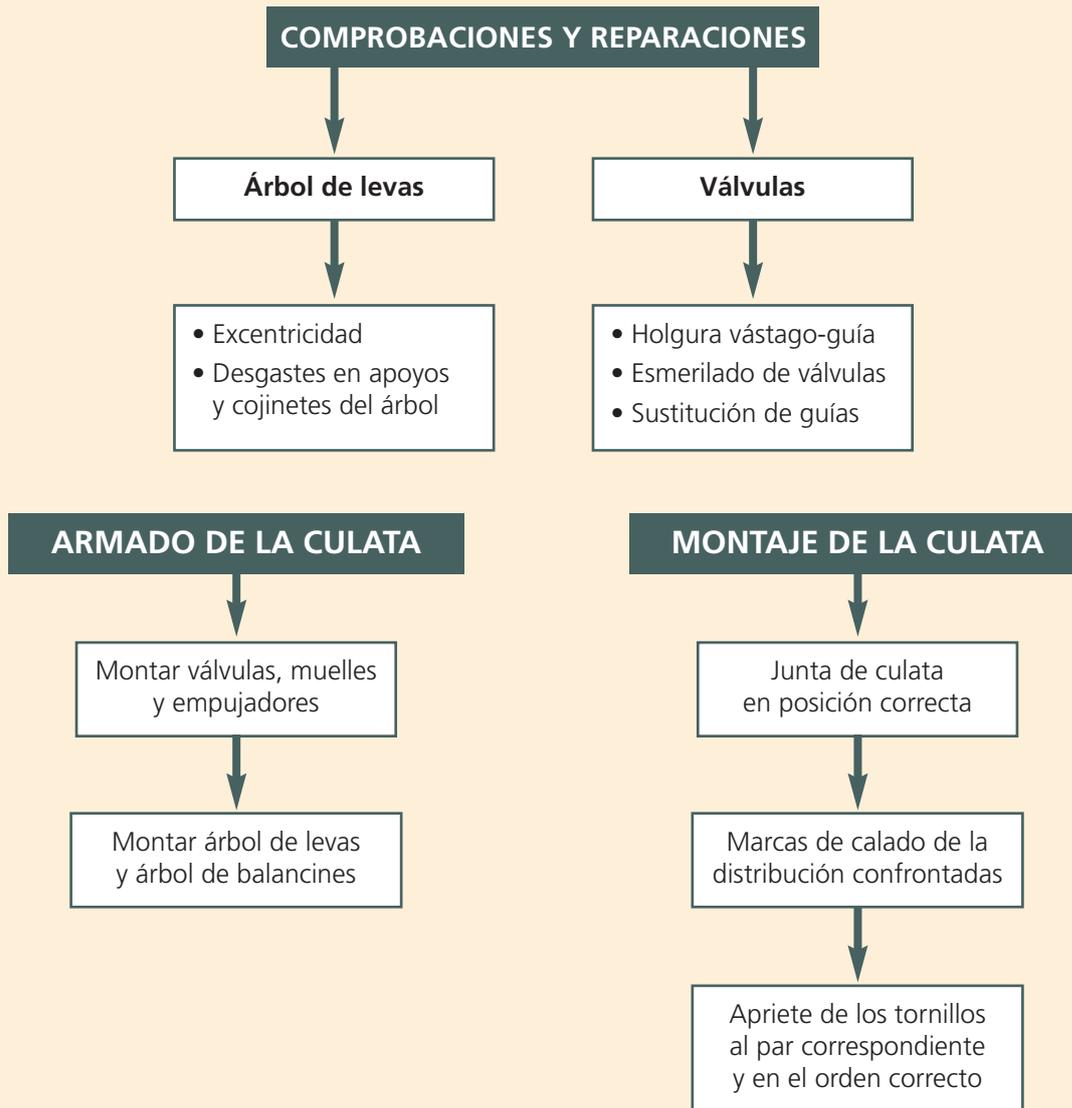


Lamentablemente en virtud de las severas condiciones de uso, con el transcurso del tiempo el acabado superficial de los tornillos se degrada por la acumulación de óxido, polvo, calaminas y otras sustancias extrañas.

Todos los fabricantes de motores recomiendan en sus manuales de reparación la substitución sistemática del juego completo de tornillos tras el desmontaje de la culata.

Establecimiento Metalúrgico Ochoteco S.A.

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- http://www.etman.com.ar:7778/portal/page?_pageid=53,412601&_dad=portal&_schema=PORTAL
- <http://www.solokombis.com.ar/Articulos%20Tecnicos/Articulos%20Tecnicos%2002/8.htm>
- <http://www.automotriz.net/tecnica/fallas-valvulas.htm>
- <http://jp.mahle.com/C12570B3006C0D49/CurrentBaseLink/W27BLLNH524STULES>
- <http://www.mecanicavirtual.org/hazlo-taques.htm>
- <http://www.youtube.com/watch?v=EX5XLh1AFIU>
- http://www.ms-motor-service.es/ximages/ks_si_0015_es_web.pdf

11

Verificación y puesta a punto de la distribución

vamos a conocer...

1. Calado de la distribución
2. Sustitución de una correa dentada
3. Comprobación de las cotas de distribución
4. Reglaje de válvulas

PRÁCTICA PROFESIONAL

Cambio de una correa de distribución
Regulación del juego de válvulas

MUNDO TÉCNICO

Tensor de distribución



y al finalizar esta unidad...

- Realizarás el calado y puesta a punto de la distribución.
- Comprobarás sobre el motor las cotas del diagrama de distribución.
- Conocerás los diferentes métodos para realizar el reglaje de válvulas.

situación de partida

Manuel, jefe de un taller multimarca, ubicado en la zona de Murcia, comentaba con Ginés, un cliente (que el otro día acudió al taller para efectuar el mantenimiento de su coche puesto que marcaba 120.000 km), que cuando en un coche se cumple con el mantenimiento programado por el fabricante lo normal es que no dé problemas durante un largo periodo de tiempo.

Manuel pasa el coche a la zona de reparación donde se comienza a efectuar el programa de mantenimiento en el que entre otras cosas hay que proceder al cambio de la correa de distribución, tensores y rodillos. Se procede al desmontaje de los elementos que cubren la correa y sus accesorios, y una vez confrontadas todas las

marcas de calado de la distribución, se cambia la correa, los tensores y se procede al tensado de la misma.

Se realizan todas las demás labores de mantenimiento, incluida la realización de un reglaje de válvulas que en este motor, el fabricante recomienda hacerlo mediante el método de la válvula de escape pisada. Finaliza la reparación con la puesta en marcha del vehículo y posterior prueba en carretera, una vez puesto en marcha se observa un ruido en la correa al acelerar similar a un silbido o zumbido, problema que es resuelto al revisar de nuevo la tensión de la correa de distribución.

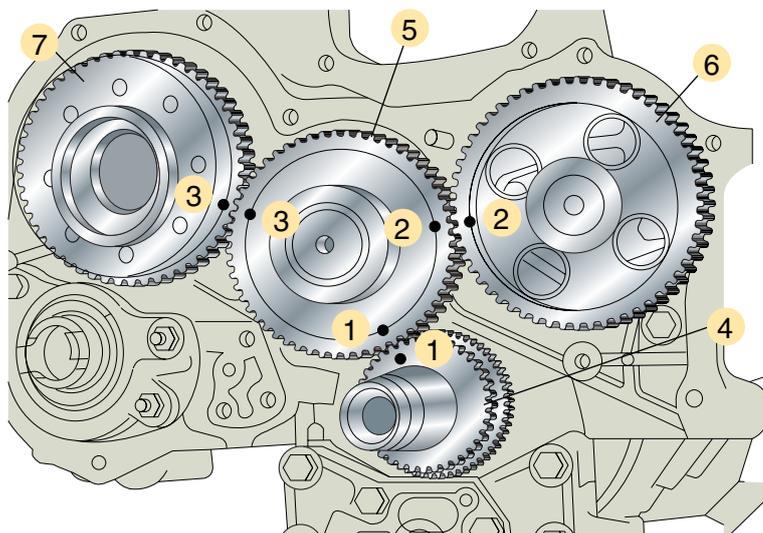
estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Por qué crees que es necesario cambiar la correa de distribución?
2. ¿Por qué crees que hay que cambiar los rodillos y tensores?
3. ¿Cuáles son las cotas del diagrama de distribución?
4. ¿Qué problemas crees que podría ocurrir en el motor si la distribución no se cala de forma adecuada?
5. Para la realización de un reglaje de válvulas, ¿conoces algún sistema además del de la válvula de escape pisada?

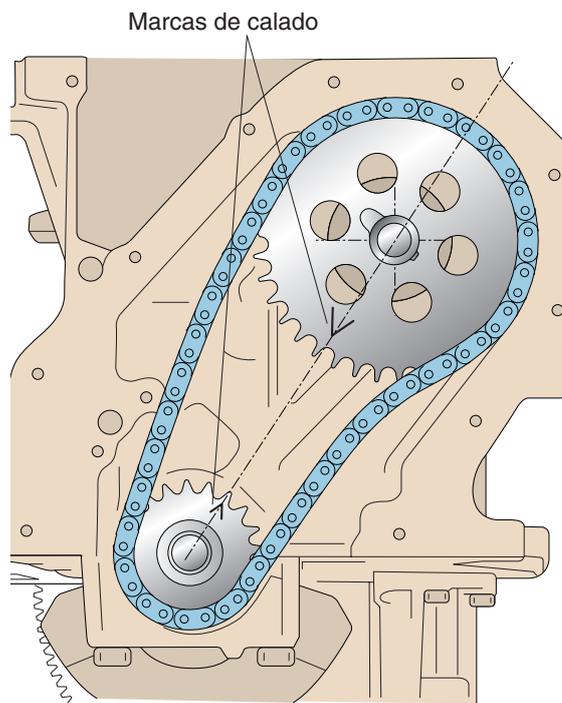
1. Calado de la distribución

El calado de la distribución consiste en sincronizar el giro del cigüeñal con el del árbol de levas, de tal forma que el movimiento de las válvulas se produzca en el momento adecuado para conseguir que los tiempos de apertura y cierre coincidan exactamente con el diagrama de distribución.



- | | | | |
|----------|-------------------|---|-----------------------------|
| 1, 2 y 3 | Marcas de calado | 6 | Piñón de árbol de levas |
| 4 | Piñón de cigüeñal | 7 | Piñón de bomba de inyección |
| 5 | Piñón intermedio | | |

↑ **Figura 11.1.** Distribución por ruedas dentadas en un motor Diesel.



↑ **Figura 11.2.** Transmisión por cadena (sistema OHV).

caso práctico inicial

Antes de desmontar la correa usada se posicionan las marcas de calado (tanto en los árboles de levas como en el cigüeñal) se monta la nueva correa y se gira el motor dos vueltas para verificar que el calado es correcto.

La correcta posición de montaje del árbol de levas respecto al cigüeñal viene señalada mediante marcas en las ruedas dentadas. Las ruedas dentadas se montan sobre sus respectivos ejes en posición única.

Cuando se enfrentan las marcas del cigüeñal, el cilindro número uno se sitúa en el punto muerto superior.

Para efectuar el calado de la distribución se posicionan adecuadamente las marcas de cigüeñal y de árbol de levas y se monta el elemento de transmisión: piñón, cadena o correa dentada. Será necesario identificar dichas marcas sobre el motor consultando la documentación técnica, donde además se indica el procedimiento más adecuado.

Distribución por ruedas dentadas. Se montan los piñones haciendo coincidir sus marcas de calado (figura 11.1). El piñón 7 da movimiento a la bomba de inyección Diesel que también gira sincronizada con la distribución.

Sistema OHV con transmisión por cadena. Se giran ambos piñones hasta que las marcas queden alineadas (figura 11.2). Para facilitar el montaje de la cadena se extrae el piñón del árbol de levas, se engrana la cadena en ambos piñones y se vuelve a montar. A continuación se coloca el tensor, se gira dos vueltas el cigüeñal y se comprueba que las marcas coincidan.

Transmisión por correa dentada. Se enfrentan las marcas de los árboles de levas y del cigüeñal con las correspondientes referencias fijas (figura 11.3). Se monta la correa ajustando el dentado en las ruedas. A continuación se efectúa el tensado de la correa siguiendo el método indicado por el fabricante.

1.1. Tensado de la correa dentada

Es muy importante que la correa trabaje con la tensión adecuada. Esto se consigue por la acción de un rodillo tensor cuya posición se regula hasta alcanzar el punto de tensado correcto.

La regulación se efectuará con motor frío, debido a que la tensión varía con la temperatura.

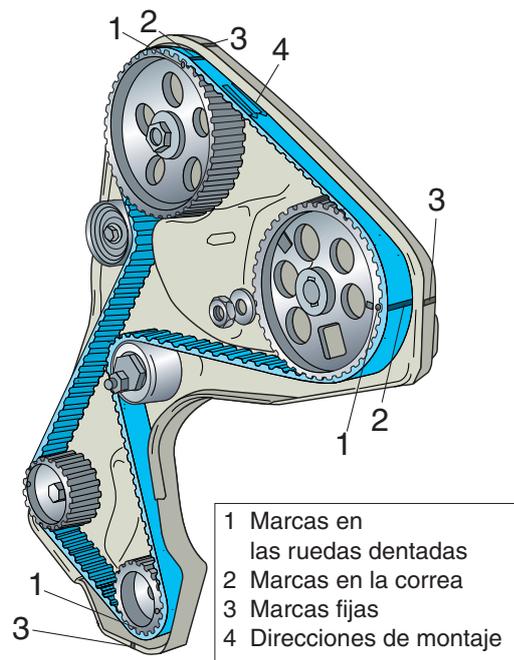
Una correa nueva se destensa progresivamente durante los primeros 10.000 km de recorrido y después se estabiliza. La tensión de funcionamiento es por tanto menor a la regulada en el montaje.

Tensado manual

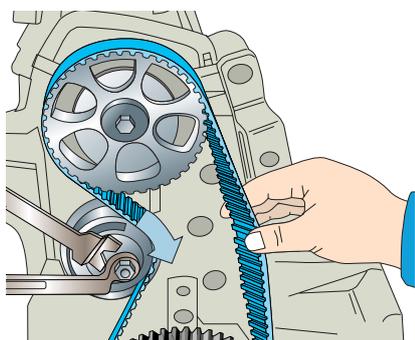
Se actúa sobre el tensor hasta conseguir torcer la correa sin llegar a los 90°, cogiéndola con los dedos pulgar e índice aproximadamente a una distancia intermedia entre las dos ruedas (figura 11.4). Este método es inexacto, además requiere cierta experiencia.

Regulación por rodillo autotensor

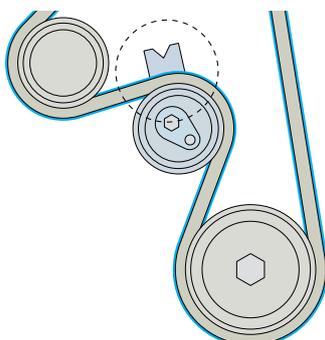
El rodillo autotensor, o tensor automático, está constituido por un mecanismo con muelle interior que se regula haciendo coincidir un índice móvil con su marca de referencia. Los hay de muy diferentes tipos, como ejemplo se explica un modelo que utiliza Opel en algunos de sus motores (figura 11.5).



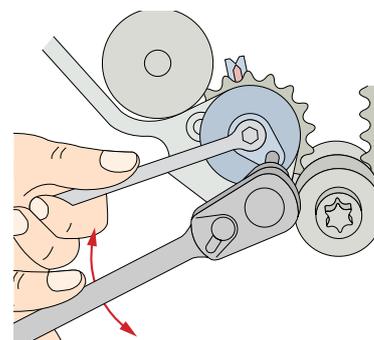
↑ **Figura 11.3.** Transmisión por correa dentada.



↑ **Figura 11.4.** Comprobación manual del tensado de correa.

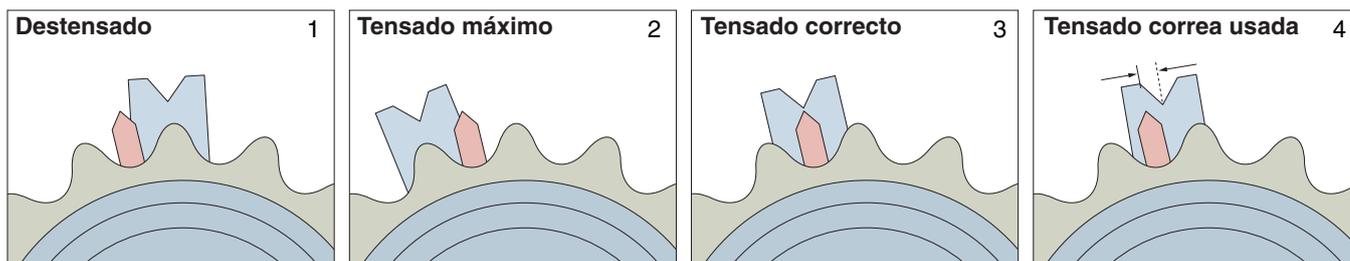


↑ **Figura 11.5.** Situación del rodillo tensor.



↑ **Figura 11.6.** Operación de tensado del rodillo.

- Para destensar la correa se afloja el tornillo de fijación (figura 11.6) y se gira el tensor hasta que el índice esté en el tope de la izquierda (1 figura 11.7).
- Montaje y tensado de una correa nueva.
 - Se monta el tensor y se gira (figura 11.6) hasta llevar el índice al tope derecho (2 figura 11.7). Fijarlo, girar dos vueltas el motor y comprobar que quedan perfectamente alineadas las marcas en el cigüeñal y en los árboles de levas.
 - A continuación se afloja ligeramente el tornillo (figura 11.6) y se gira el tensor para hacer coincidir el índice con la marca central en V (3 figura 11.7).
 - Por último, se aplica el par de apriete al tornillo de fijación del tensor.



↑ **Figura 11.7.** Posiciones para la regulación de la tensión.

- Para una correa usada se procederá de igual manera que con la nueva pero en este caso el índice se hará coincidir con el borde izquierdo de la marca en V (4 figura 11.7).

Empleo del tensiómetro

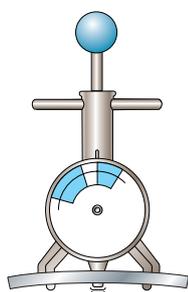
En algunos motores es necesario utilizar un tensiómetro. Existen varios modelos (figuras 11.8 y 11.10) con escalas diferentes y sin equivalencia entre sus unidades, por lo que será necesario utilizar el que recomiende el fabricante.

Estos calibradores se basan en medir la flexión de la correa para una carga conocida o viceversa. El procedimiento será el siguiente:

- Situar el aparato sobre la correa en el lugar indicado por el fabricante (figura 11.9).
- Actuar sobre el rodillo tensor hasta que el tensiómetro marque la medida correcta. Bloquear el tensor.
- Girar dos vueltas el cigüeñal y comprobar que el valor de la tensión está dentro de la tolerancia de $\pm 10\%$. Si no es así reajustarlo.

El tensiómetro Burroughs (figura 11.8). Está compuesto por dos patines y un tirador central que tensa la correa. La fuerza se expresa en newtons y se indica mediante el desplazamiento de una aguja sobre la escala del aparato.

Es recomendable realizar varias mediciones hasta obtener el ajuste correcto.



↑ **Figura 11.8.** Tensiómetro Burroughs.

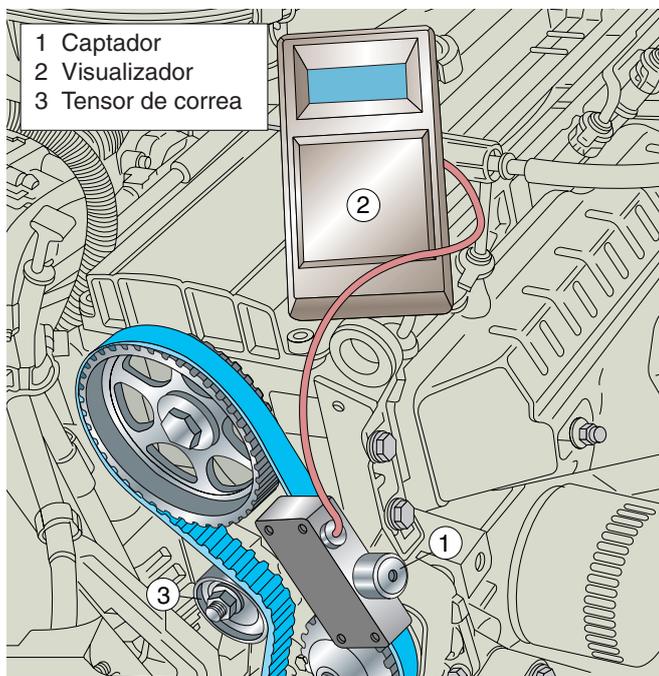


Figura 11.9. Empleo del tensiómetro.

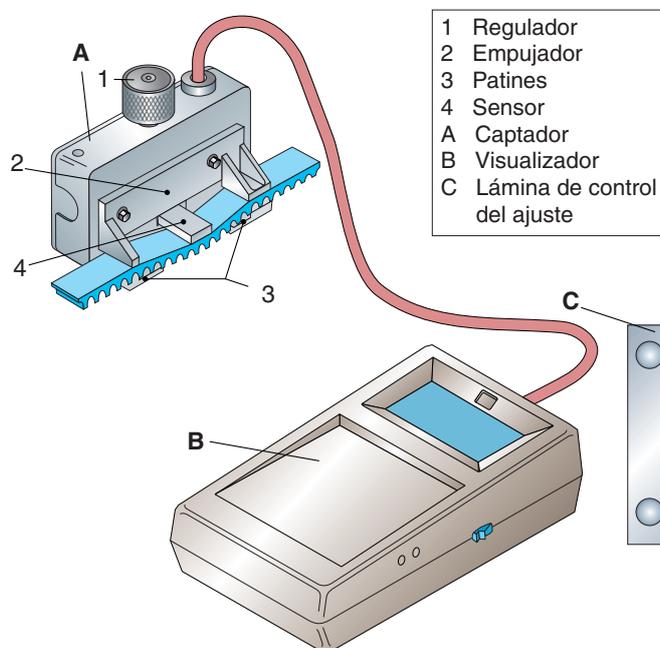


Figura 11.10. Tensiómetro Seem.

El **tensiómetro Seem** (figura 11.10). Consta de un captador (A) y un visualizador (B). La correa se introduce entre los patines exteriores (3) y es presionada por el empujador (2) cuando se actúa sobre el botón (1), esta regulación se lleva a cabo para crear una tensión determinada. La fuerza de reacción de la correa es captada por el sensor (4), que convierte esta fuerza en una tensión eléctrica capaz de visualizarse en la pantalla en unidades Seem. Dispone de una lámina patrón (C) para calibrar el aparato.

1.2. Conservación de la correa dentada

La correa dentada no requiere ningún mantenimiento. Si es necesario se verificará visualmente su buen estado de conservación. Además se tendrán las siguientes precauciones:

- Evitar el contacto con gasolina, aceite o cualquier tipo de disolvente.
- Siempre que se desmonte una correa es aconsejable sustituirla por una nueva, si no es así se deberá de conservar la misma dirección de funcionamiento que tenía originalmente.
- No se debe torcer la correa ni doblarla con un radio inferior a 25 mm (figura 11.11).

Ruidos en la correa. Pueden estar originados por una tensión excesiva, una tensión insuficiente o porque las ruedas dentadas estén desalineadas.

Correa deteriorada. Si al desmontar la correa, presenta señales de deterioro prematuramente (figura 11.12), como grietas, desgaste excesivo en los dientes o desgaste en los bordes, será necesario averiguar las causas. Posiblemente se podrán localizar entre las siguientes:

- Regulación de la tensión incorrecta.
- Ruedas no alineadas.
- Posible agarrotamiento de la rueda del tensor o de la bomba de agua.
- Contaminación por aceite, debido a fugas o por deterioro de la carcasa protectora.

Ante cualquier indicio de mal estado, se sustituirá la correa, no sin antes localizar y reparar las causas que produjeron dicho deterioro.

caso práctico inicial

El ruido de zumbido en la distribución se soluciona generalmente con el ajuste correcto de la tensión de la correa.

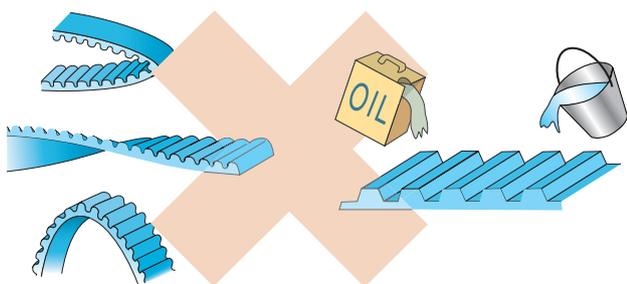


Figura 11.11. Conservación de la correa dentada.

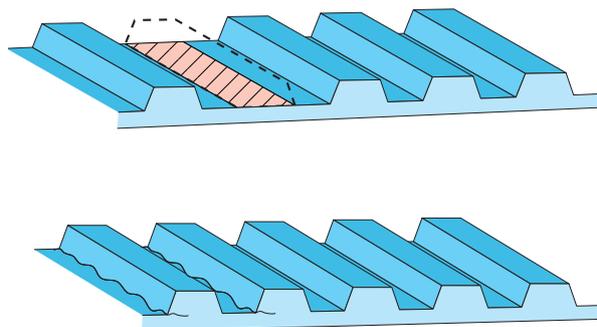


Figura 11.12. Correa deteriorada.

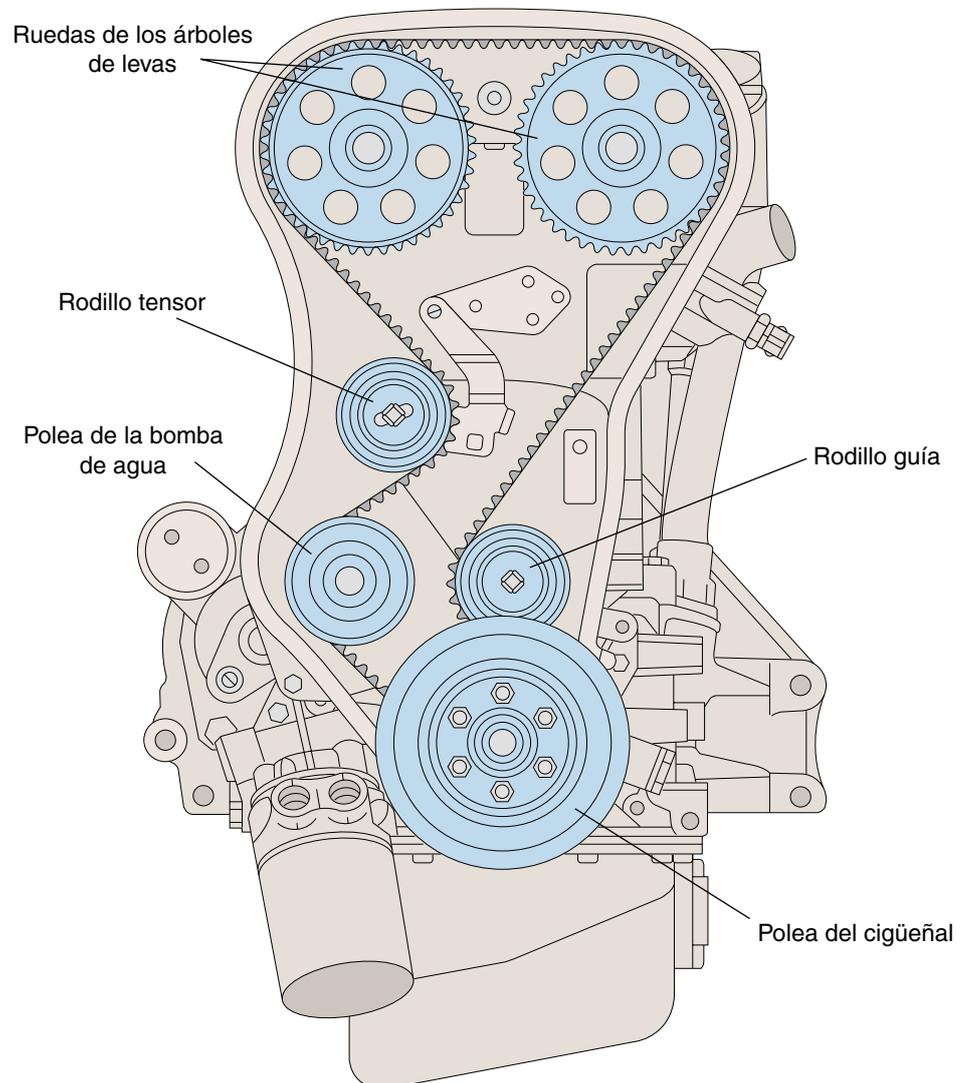
2. Sustitución de una correa dentada

caso práctico inicial

Ginés acudió al taller para el cambio de la correa de distribución por que el fabricante de su vehículo le aconsejó el cambio a los 120.000 km.

Se trata de una operación muy común en los motores equipados con este tipo de correa. Al menos una vez en la vida útil del motor es necesario cambiarla por motivos de seguridad (cada 120.000 km aproximadamente). En cada caso se seguirán estrictamente los procedimientos indicados por el fabricante

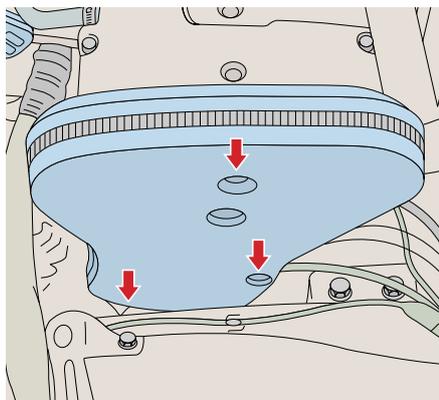
A continuación se describe el proceso completo con el motor montado sobre el vehículo.



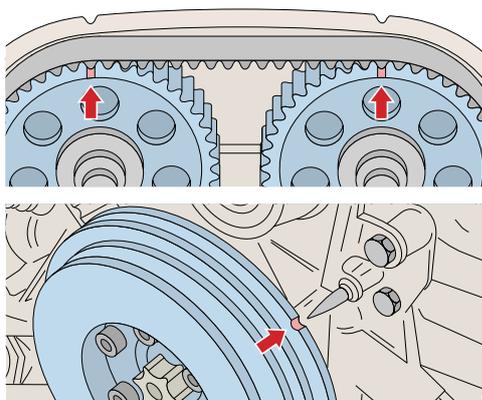
→ **Figura 11.13.** Elementos de la transmisión por correa dentada.

2.1. Desmontaje

- Desconectar la batería.
- Siguiendo las instrucciones del fabricante, desmontar los elementos necesarios para facilitar el acceso a la zona del motor donde va montada la correa.
- Destensar y extraer la correa de accesorios (alternador, climatizador, etc.).
- Extraer la polea del cigüeñal.

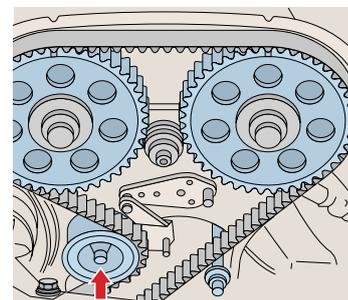


↑ **Figura 11.14.** Desmontaje de la cubierta.



↑ **Figura 11.15.** Marcas de distribución confrontadas.

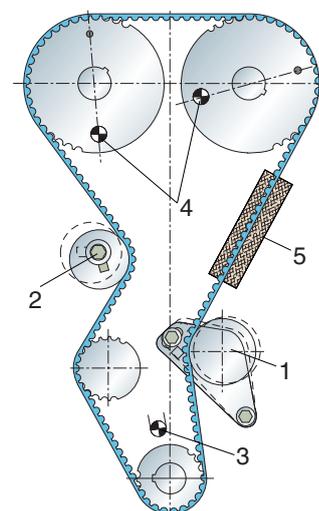
- Desmontar la cubierta de distribución (figura 11.14).
- Confrontar las marcas de calado de la distribución (figura 11.15).
 - Introducir la 5ª marcha y girar una rueda hasta alinear las marcas de los piñones del cigüeñal y del árbol de levas con sus respectivas referencias fijas.
 - En algunos motores la posición de calado se consigue mediante pasadores que se introducen en el cigüeñal y en las ruedas dentadas del árbol de levas, quedando bloqueados los árboles mientras se realiza la operación (figura 11.17).
- Desmontar la correa:
 - Aflojar la fijación del rodillo tensor y desplazarlo hasta que la correa quede destensada (figura 11.16).
 - En caso de montar la misma correa marcar el sentido de giro.
 - Extraer la correa.



↑ **Figura 11.16.** Fijación del tensor.

2.2. Montaje

- Asegurarse de que las marcas de calado siguen enfrentadas.
- Montar la correa dentada comenzando por la rueda del cigüeñal.
- Respetar el sentido de giro de la correa. Normalmente se indica mediante flechas.
- Tensar la correa:
 - Es aconsejable sustituir el conjunto de rodillo tensor por uno nuevo.
 - Utilizando el método prescrito por el fabricante, actuar sobre el tensor hasta conseguir la tensión correcta. Fijar el tensor.
 - Girar dos vueltas el cigüeñal y comprobar que las marcas coincidan exactamente, si no es así, volver a repetir toda la operación.
 - Comprobar de nuevo la tensión y corregirla si fuera necesario.
 - La tensión de la correa varía ligeramente con la temperatura. Efectuar la regulación con motor frío.
 - En motores Diesel, comprobar el calado de la bomba de inyección después del cambio de la correa.
- Montar la cubierta de distribución.
- Montar el resto de elementos en orden inverso a su desmontaje.



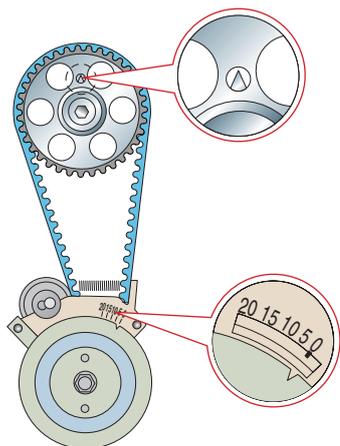
- 1 y 2 Tensores
- 3 y 4 Pasadores de posición
- 5 Zona de comprobación de la tensión

↑ **Figura 11.17.** Posición de calado mediante pasadores.

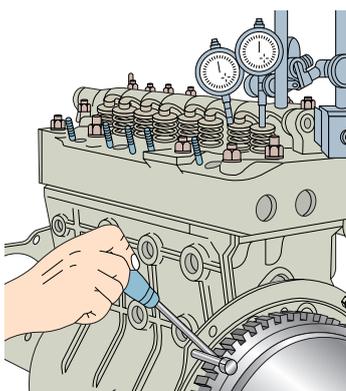
3. Comprobación de las cotas de distribución

Los desgastes en las piezas de la distribución, principalmente en el sistema de transmisión entre los piñones o en el tensor, producen alteraciones en las cotas de distribución con la consiguiente pérdida de potencia en el motor.

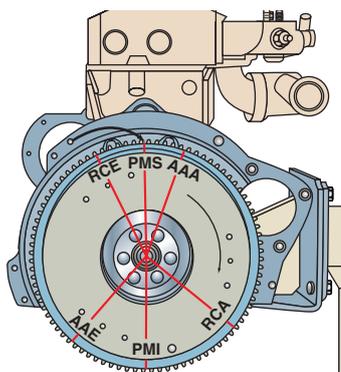
A continuación se describe un método para comprobar si se cumplen los ángulos previstos en el diagrama de distribución. Las cotas se irán marcando sobre la periferia del volante motor.



↑ **Figura 11.18.** Marcas de fábrica del PMS.



↑ **Figura 11.19.** Determinación de los puntos de apertura y cierre de las válvulas.



↑ **Figura 11.20.** Marcado de cotas sobre el volante.

- **Se monta un índice fijo sobre el bloque que sirva de referencia a dichas marcas.**
- **Se marcan sobre el volante motor el PMS y el PMI.**
 - Se sitúa el pistón número 1 en el PMS haciendo coincidir las marcas de distribución (figura 11.18).
 - En esta posición hacer una marca sobre el volante coincidiendo con el índice fijo (PMS). Con la ayuda de una regla hacer otra marca de PMI diametralmente opuesta.
- **Se hace el reglaje del juego de válvulas en el cilindro número 1 con un valor especial que proporciona el fabricante y que es válido únicamente para hacer esta comprobación.**
 - En motores equipados con taqués hidráulicos, no es posible realizar esta prueba, ya que a motor parado no se dispone de presión de aceite.
- **Se marcan los puntos de apertura y cierre de la válvula de admisión:**
 - Se coloca el palpador de un reloj comparador sobre el platillo de la válvula de admisión (figura 11.19).
 - Se gira el cigüeñal muy lentamente para detectar por el movimiento de la aguja el punto exacto donde la válvula comienza a abrirse (cota de AAA). Marcar este punto sobre el volante (figura 11.20).
 - Superar el PMS y seguir girando hasta pasar el PMI. Detectar el momento en que la válvula deja de moverse, este punto corresponde a válvula cerrada (cota de RCA). Hacer una señal en el volante.
- **Se marcan los puntos de apertura y cierre de la válvula de escape:**
 - Proceder de la misma manera sobre la válvula de escape y marcar sobre el volante de inercia las cotas de AAE y RCE.
- **Transformar en grados las distancias entre las marcas** y representar gráficamente el diagrama circular resultante.
 - Se toma la medida en milímetros de los arcos comprendidos entre las marcas y los puntos muertos superior e inferior.
 - Siendo la medida en milímetros del perímetro del volante (p) equivalente a 360° , se puede establecer el valor en grados de cada milímetro

$$n = p / 360 \quad p = \pi \cdot d$$

Expresado en función del diámetro (d)

$$n = \pi \cdot d / 360$$

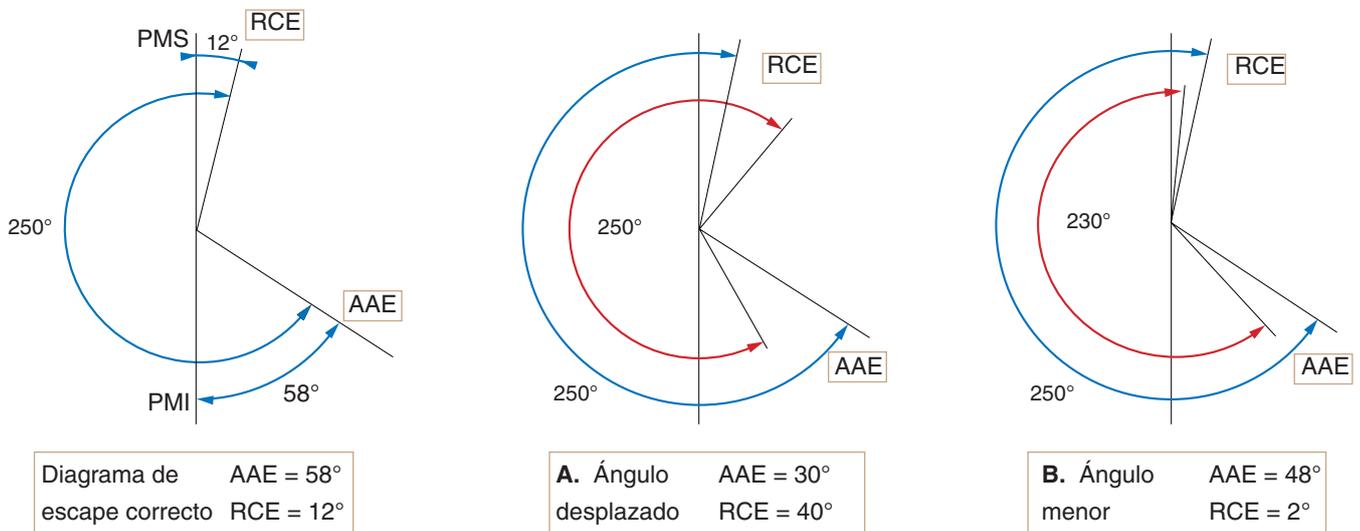
Los resultados obtenidos se contrastarán con el diagrama original del motor:

- **Ángulo desplazado:**

- Si el ángulo total de apertura de la válvula se mantiene, pero aparece desplazado (A-figura 11.21) las causas pueden ser:
 - Desgaste en los piñones, en la cadena o la correa de distribución.
 - Mal funcionamiento del tensor o calado de la distribución incorrecta.

- **Ángulo diferente:**

- Si el ángulo total de apertura ha variado (B-figura 11.21) haciéndose mayor o menor, las posibles causas son: un excesivo desgaste de levas o un reglaje de válvulas incorrecto.



↑ **Figura 11.21.** Ángulo de apertura de la válvula de escape.

EJEMPLO

Los puntos de apertura y cierre de la válvula de escape marcados en el volante del motor son los siguientes:

AAE = 122 mm respecto del PMI.

RCE = 25 mm respecto del PMS.

¿Cuál sería su valor en grados si el volante tiene un diámetro de 240 mm?

Solución:

$$n = \pi \cdot d / 360 = 240 \cdot 3,14 / 360 = 2,1 \text{ mm}$$

$$1^\circ = 2,1 \text{ mm}$$

$$\text{AAE} = 122 / 2,1 = 58^\circ$$

$$\text{RCE} = 25 / 2,1 = 12^\circ$$

$$\text{Ángulo de escape} = 58^\circ + 180^\circ + 12^\circ = 250^\circ$$

4. Reglaje de válvulas

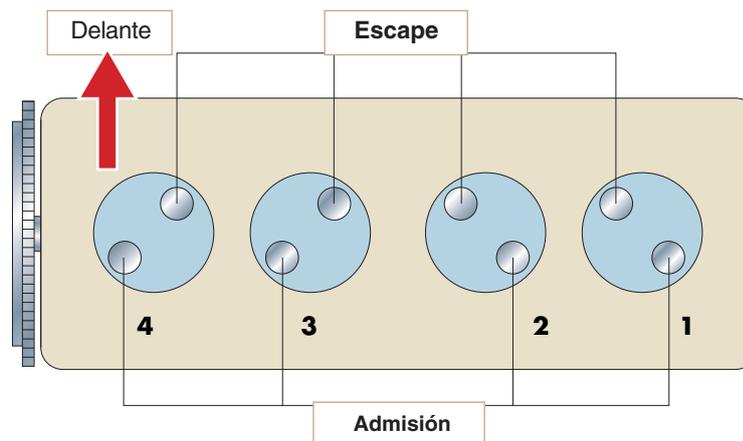
El juego de válvulas es necesario para compensar la dilatación térmica, por lo que debe comprobarse con motor frío. Se mide entre el vástago de la válvula y el elemento empujador (balancín o taqué).

El valor del juego de válvulas lo establece el fabricante y es muy variable dependiendo principalmente del tipo de distribución y de las características térmicas del motor.

Generalmente el juego se encuentra comprendido entre 0,1 y 0,4 mm, siendo algo mayor para la válvula de escape.

Antes de comenzar el reglaje es necesario consultar la documentación técnica para conocer los siguientes datos (figura 11.22):

- Posición del cilindro número 1 en el motor.
- Orden de encendido o inyección. El más habitual en un motor de cuatro cilindros es 1-3-4-2.
- Identificación de las válvulas de admisión y escape. Si no se conoce proceder del siguiente modo: se gira el motor en el sentido correcto hasta que las dos válvulas de un cilindro estén cerradas, a partir de esta posición la primera que se abra será la de escape.



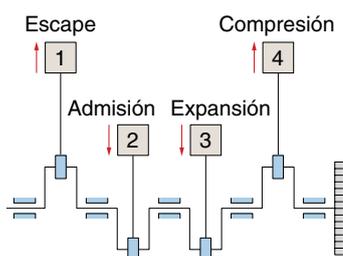
↑ **Figura 11.22.** Identificación de válvulas y cilindros.

4.1. Reglaje por cruce de válvulas

Para realizar la regulación es necesario que las válvulas del cilindro correspondiente estén totalmente cerradas. Para buscar esta posición se usa como referencia el cruce de válvulas.

El cruce de válvulas se produce en las proximidades del PMS, entre el final de escape y el principio de la admisión. En un determinado ángulo, las dos válvulas permanecen abiertas. El cruce es fácilmente perceptible cuando se tienen los balancines a la vista.

En un motor de cuatro cilindros en línea cuando el número 1 está al final del escape la válvula de admisión ya ha empezado a abrirse, por tanto tiene sus válvulas en cruce. El cilindro número 4 estará al final de la compresión, o sea, con las válvulas cerradas (figura 11.23).

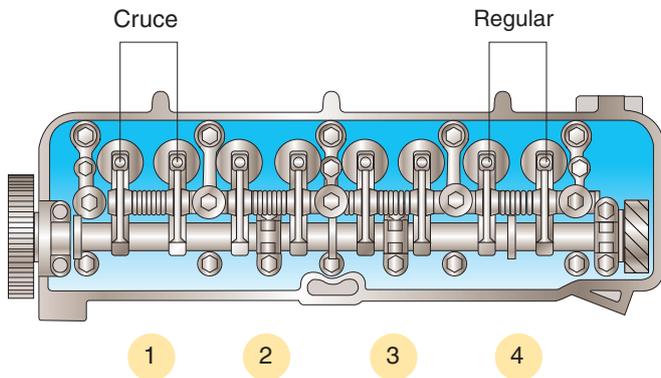


↑ **Figura 11.23.** Motor de cuatro cilindros en línea con orden de encendido 1-3-4-2.

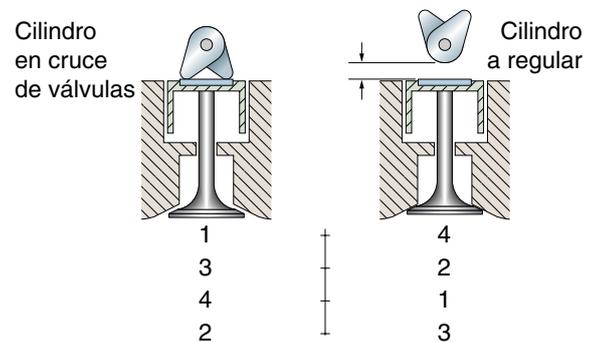
En la siguiente media vuelta, según el orden de encendido, estará en cruce el cilindro número 3, después el 4 y luego el 2.

Reglaje de válvulas en un motor de cuatro cilindros con orden de encendido 1-3-4-2

- Se busca el cruce de válvulas del cilindro número 1, cuando el balancín de la válvula de escape está terminando de subir y a la vez empieza a bajar el de la válvula de admisión.
- Se gira en un sentido y en otro para buscar, aproximadamente, la posición intermedia del cruce.
- Se regulan las válvulas del cilindro número 4 (figura 11.24).
- A continuación se pone en cruce el cilindro número 3 y se regulan las válvulas del número 2. Repetir en los demás cilindros siguiendo el orden de encendido (figura 11.25).



↑ Figura 11.24. Reglaje por cruce de válvulas.



↑ Figura 11.25. Orden de regulación.

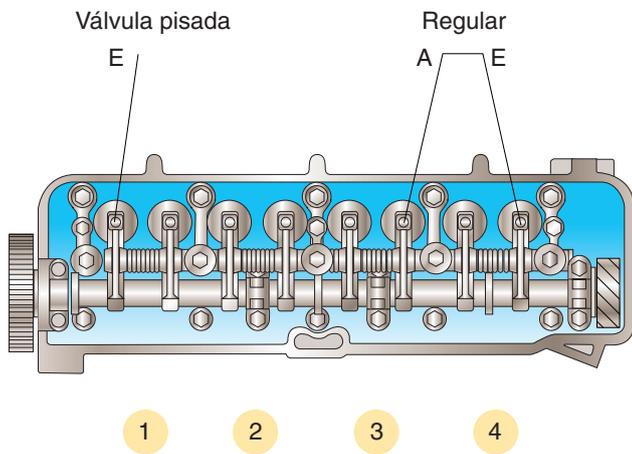
4.2. Reglaje por válvula de escape abierta

Este método consiste en abrir al máximo la válvula de escape de un cilindro y regular la válvula de admisión del cilindro que está en el tiempo de expansión y la de escape del cilindro que está en compresión.

En el siguiente cuadro puede seguirse el razonamiento del proceso.

	Cilindro nº 1	Cilindro nº 2	Cilindro nº 3	Cilindro nº 4
0°	Escape PMI	Admisión PMS	Expansión (PMS) Regular Adm.	Compresión (PMI) Regular Esc.
180°	Admisión PMS	Compresión (PMI) Regular Esc.	Escape PMI	Expansión (PMS) Regular Adm.
360°	Compresión (PMI) Regular Esc.	Expansión (PMS) Regular Adm.	Admisión PMS	Escape PMI
540°	Expansión (PMS) Regular Adm.	Escape PMI	Compresión (PMI) Regular Esc.	Admisión PMS
720°				

- Se coloca la válvula de escape del cilindro número 1 en posición de máxima apertura (figura 11.26).
- El cilindro número 3 estará en expansión, luego las dos válvulas permanecen cerradas, pero a la siguiente media vuelta, la válvula de escape se abre. De esta forma solamente la válvula de admisión estará en la posición adecuada para realizar la regulación.
- El cilindro número 4 estará en compresión, y haciendo un razonamiento análogo al anterior, se puede ver que la válvula de escape no actúa ni en la vuelta anterior ni en la posterior, por lo tanto se realizará la regulación en esta válvula.
 - Se repetirá en los demás cilindros como indica la siguiente tabla.

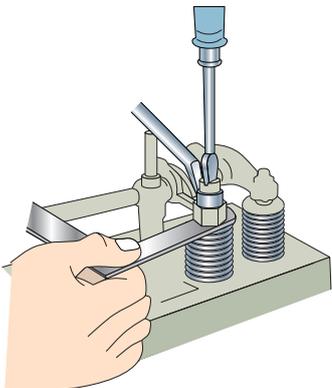


Válvula de escape en posición totalmente abierta	Válvula de admisión a regular	Válvula de escape a regular
1	3	4
3	4	2
4	2	1
2	1	3

↑ **Figura 11.26.** Reglaje por válvula de escape abierta y procedimiento para el reglaje (tabla).

4.3. Forma práctica de realizar el reglaje de válvulas

- Se extrae la tapa de balancines.
- Se gira el cigüeñal hasta encontrar la posición de reglaje del cilindro correspondiente, para ello se emplea uno de los métodos explicados anteriormente.
- Si el motor está montado sobre el vehículo, se eleva una rueda del eje de tracción, se introduce la quinta marcha y se gira en su sentido.
- Se comprobará si el juego existente es correcto. Para ello, se elegirá una lámina calibrada cuyo espesor sea igual a la medida a regular; se introducirá entre el vástago de la válvula y el balancín. La lámina debe entrar con una ligera resistencia, aunque sin ser excesiva ya que si no se comprimiría el muelle.
- Si la lámina entra muy forzada o existe excesiva holgura al introducirla, es necesario regular el juego de las válvulas.
- Se afloja la tuerca de fijación y se gira el tornillo de regulación hasta conseguir el juego correcto (figura 11.27).
- Se aprieta la tuerca de fijación mientras se mantiene inmóvil la posición del tornillo de regulación con un destornillador.
- Se vuelve a comprobar, ya que a veces al apretar la tuerca se modifica la posición del tornillo de regulación; si es así, repetir la operación.



↑ **Figura 11.27.** Regulación por tornillo y tuerca de fijación.

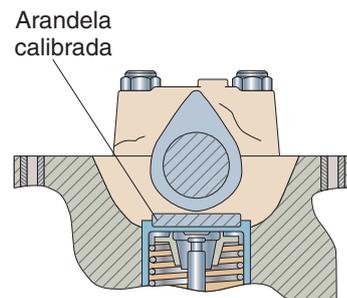
Regulación mediante arandelas calibradas

En los sistemas de distribución OHC la leva actúa directamente sobre el taqué que está situado encima de la válvula. Para facilitar la regulación del juego de válvulas se intercala una arandela calibrada entre el taqué y la leva (figura 11.28).

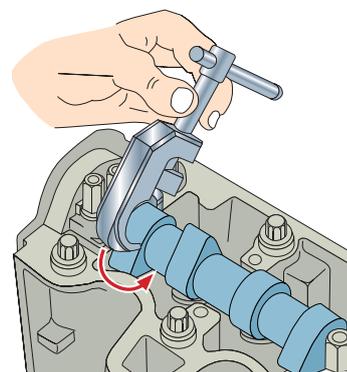
El fabricante suministra arandelas de recambio con espesores que varían progresivamente cada 0,05 mm. El espesor viene grabado en una de las caras. La cara donde se graba el espesor quedará posicionada hacia abajo, de forma que no entre en contacto con la leva.

Para regular, hay que proceder del siguiente modo:

- Se obtiene la holgura existente en cada válvula utilizando un juego de galgas o láminas calibradas.
- Se anotan las medidas obtenidas y se calculan los espesores que son necesarios.
- Para realizar la sustitución de las arandelas de reglaje, es imprescindible emplear el útil adecuado que suele ser específico de cada marca (figura 11.29).
- Con este útil es posible empujar el taqué comprimiendo el muelle para liberar la arandela.
- La arandela calibrada se extrae con un alicate, después se introduce la nueva y se retira el útil.
- Se comprueba de nuevo el juego resultante.
- Una vez terminado el reglaje, se monta la tapa de distribución con una junta nueva.



↑ **Figura 11.28.** Regulación por arandelas calibradas.



↑ **Figura 11.29.** Útil para la extracción de las arandelas de regulación.

ABREVIATURAS UTILIZADAS EN DIFERENTES IDIOMAS				
ESPAÑOL	FRANCÉS	ALEMÁN	INGLÉS	ITALIANO
PMS (Punto Muerto Superior)	PMH	OT	TDC	PMS
PMI (Punto Muerto Inferior)	PMB	UT	BDC	PMI
AI (Comienzo de Inyección)	INJ	FB	FI	INIEZ

EJEMPLO

Calcula el espesor de la arandela de reglaje.

Solución:

Juego correcto: 0,20 mm

Juego obtenido: 0,35 mm

Espesor de la arandela montada: 3,5 mm

$$0,35 - 0,20 = 0,15 \text{ mm}$$

$$3,5 + 0,15 = 3,65 \text{ mm}$$

Por consiguiente, debe sustituirse la arandela de 3,5 mm por la de 3,65 mm



ACTIVIDADES FINALES

Consulta en la documentación técnica la posición de las marcas de calado de la distribución, el tipo de tensor y su ajuste. Así como, el método y los valores para realizar el reglaje de válvulas y el diagrama de distribución.

- 1. Realiza el calado de la distribución:
 - Haz coincidir las marcas de calado y monta el elemento de transmisión.
 - Monta el tensor y ajústalo.
 - Gira dos vueltas el cigüeñal y comprueba que las marcas coincidan.
 - Practica con los sistemas OHV, OHC y DOHC.

- 2. Realiza el cambio y tensado de una correa dentada:
 - Desmonta los elementos necesarios para facilitar el acceso a la correa.
 - Haz coincidir las marcas de calado.
 - Afloja el tensor y desmonta la correa.
 - Monta la nueva correa y realiza el tensado con el aparato adecuado.
 - Gira dos vueltas el cigüeñal y comprueba las marcas y el tensado de la correa.
 - Monta todos los elementos desmontados.

- 3. Comprueba las cotas de distribución y dibuja el diagrama obtenido:
 - Determina el PMS y el PMI.
 - Realiza el reglaje de válvulas en el cilindro número 1 con un valor especial.
 - Marca los puntos de apertura y cierre de la válvula de admisión.
 - Marca los puntos de apertura y cierre de la válvula de escape.
 - Determina los ángulos de las cotas y dibuja el diagrama.
 - Compara el diagrama de distribución obtenido con el diagrama original del motor. Razona las posibles anomalías.

- 4. Realiza el reglaje de válvulas empleando los diferentes métodos explicados:
 - Reglaje por cruce de válvulas en un motor de cuatro cilindros en línea. Pon en cruce el cilindro número 1 y regula las válvulas del número 4. Procede de esta manera siguiendo el orden de encendido.
 - Reglaje por válvula de escape abierta en un motor de cuatro cilindros en línea. Abre al máximo la válvula de escape del cilindro número 1 y regula la de admisión del número 3 y la de escape del número 4. Procede según indica la tabla, siguiendo el orden de encendido.
 - Practica con el sistema de tornillo y tuerca de fijación y con el sistema de arandelas calibradas.

- 5. Cita las consecuencias que tendría en el motor un mal calado de la distribución o un reglaje de válvulas incorrecto.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 Cuando se enfrentan las marcas de calado en el piñón del cigüeñal, ¿dónde se encuentra el pistón número 1?

- a) Unos grados antes del PMS.
- b) En el PMS.
- c) En el PMI.
- d) Pasado el PMS.

2 ¿Qué mide un tensiómetro?

- a) La flexión de la correa bajo una carga conocida.
- b) La carga a la que está sometido el tensor.
- c) La fuerza necesaria para doblar la correa un ángulo de 90°.
- d) El par de apriete de la correa.

3 ¿Qué tolerancia se admite en la regulación de la tensión de la correa de distribución?

- a) 5%
- b) 10%
- c) 20%
- d) 25%

4 En caso de calado incorrecto de la distribución:

- a) Varían las cotas pero el ángulo total de apertura se mantiene.
- b) Varía el ángulo total de apertura y las cotas se mantienen.
- c) Varía el ángulo de apertura y las cotas.
- d) No varían ni las cotas ni el ángulo de apertura.

5 Si las dos válvulas de un cilindro están cerradas, y giramos el cigüeñal en sentido correcto, ¿cuál de ellas se abrirá en primer lugar?

- a) Depende del tipo de distribución.
- b) La válvula de admisión.
- c) La válvula de escape.
- d) Se produce el cruce de válvulas.

6 ¿En qué tiempos se produce el cruce de válvulas?

- a) Después de la compresión.
- b) Después de la expansión.
- c) Al principio del escape y al final de la admisión.
- d) Al final del escape y al principio de la admisión.

7 Para hacer el reglaje de taqués por el sistema de cruce de válvulas:

- a) Se regulan las válvulas del cilindro número 3 cuando están en cruce las del número 1.
- b) Se colocan en cruce las válvulas del cilindro número 4 y se regulan sus válvulas.
- c) Se colocan en cruce las válvulas del cilindro número 1 y se regulan las del número 4.
- d) Se colocan en cruce las válvulas del cilindro número 2 y se regulan las del número 1.

8 Para hacer el reglaje de taqués por el método de válvula de escape abierta:

- a) Se abre la válvula de escape del cilindro número 1 y se regulan las del número 3 y la de escape del número 4.
- b) Se abre la válvula de escape del cilindro número 1 y se regulan las válvulas del número 4.
- c) Se regula la válvula de admisión del número 1 y la de escape del número 3 cuando está abierta la de escape del número 4.
- d) Se abre la válvula de escape del cilindro número 1 y se regula la de admisión del número 2 y la de escape del número 3.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Llave dinamométrica
- Pasadores de posición

MATERIAL

- Motor
- Documentación técnica
- Correa y tensor de recambio

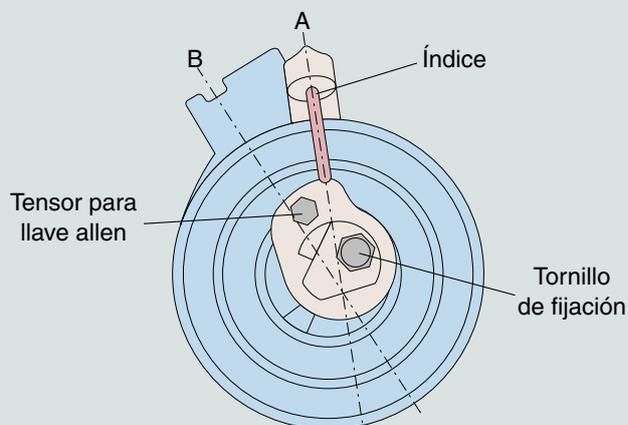
Cambio de una correa de distribución

OBJETIVO

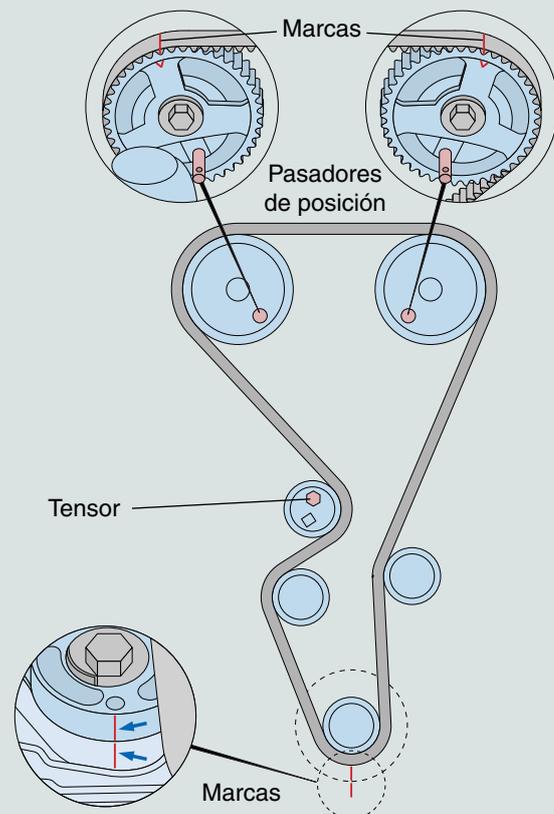
Conseguir la posición de calado, sustituir y tensar la correa.

DESARROLLO

1. Se desmonta la correa de accesorios y la polea del cigüeñal.
2. Se desmonta la cubierta de la distribución y se gira el cigüeñal hasta hacer coincidir las marcas de calado.
3. Se insertan los pasadores de posición en las ruedas de los árboles de levas.
4. Se afloja el tornillo de fijación del tensor, se destensa y se extrae la correa.
5. Se coloca la nueva correa de distribución primero en el piñón del cigüeñal, luego en el rodillo guía, después en las ruedas de los árboles de levas, en el piñón de la bomba de agua y en el rodillo tensor.
6. Se gira el tensor hacia la izquierda con una llave allen hasta llevar el índice a la posición A. Se aprieta el tornillo de fijación a su par y se extraen los pasadores de posición.
7. Se gira dos vueltas el cigüeñal en el sentido correcto y se hacen coincidir de nuevo las marcas. Se introducen los pasadores en las ruedas de los árboles de levas y se afloja el tornillo de fijación.
8. Se actúa sobre el tensor hasta hacer coincidir el índice con la marca B. Se aprieta el tornillo de fijación a su par y se sacan los pasadores de posición.
9. Se gira dos vueltas el cigüeñal y se comprueba que las marcas coinciden y que el índice del tensor permanece en la marca B. Si no es correcto repetir toda la operación.
10. Se montan todos los elementos en orden inverso al desmontaje.



↑ Figura 11.30. Rodillo tensor.



↑ Figura 11.31. Posición de calado de la distribución.

Regulación del juego de válvulas

OBJETIVO

Realizar el procedimiento de reglaje por cruce de válvulas en un motor de cuatro cilindros.

DESARROLLO

1. Consultar la información necesaria en la documentación técnica:
Orden de encendido: 1-3-4-2
2. Posición del cilindro número 1: En el lado de distribución
3. Valor del juego de válvulas: Admisión = 0,25 mm / Escape = 0,40 mm
4. Desmontar la tapa de balancines e identificar las válvulas de admisión y de escape.



Cilindro en cruce	Cilindro a regular
1	4
3	2
4	1
2	3

← Figura 11.32.

5. Girar el motor en su sentido correcto para colocar en cruce las válvulas del cilindro número 1.
6. Comprobar el juego en las válvulas del cilindro número 4: introducir la galga de 0,25 entre la válvula de admisión y el balancín, después la galga de 0,40 entre la válvula de escape y el balancín. Si en algún caso la holgura no es correcta se procederá a regular.
7. Para regular: desbloquear el tornillo de regulación aflojando la tuerca de fijación, introducir la galga y regular hasta que el tornillo haga contacto con la galga. Bloquear la tuerca de fijación mientras se mantiene fijo el tornillo de regulación.
8. Volver a comprobar la holgura; si fuera necesario repetir la operación.
9. Girar el motor hasta poner en cruce las válvulas de cilindro número 3 y regular el cilindro número 2.
10. Poner en cruce en cilindro número 4 y regular en el número 1.
11. Poner en cruce en cilindro número 2 y regular en el número 3.



↑ Figura 11.33.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Juego de galgas calibradas

MATERIAL

- Motor
- Documentación técnica

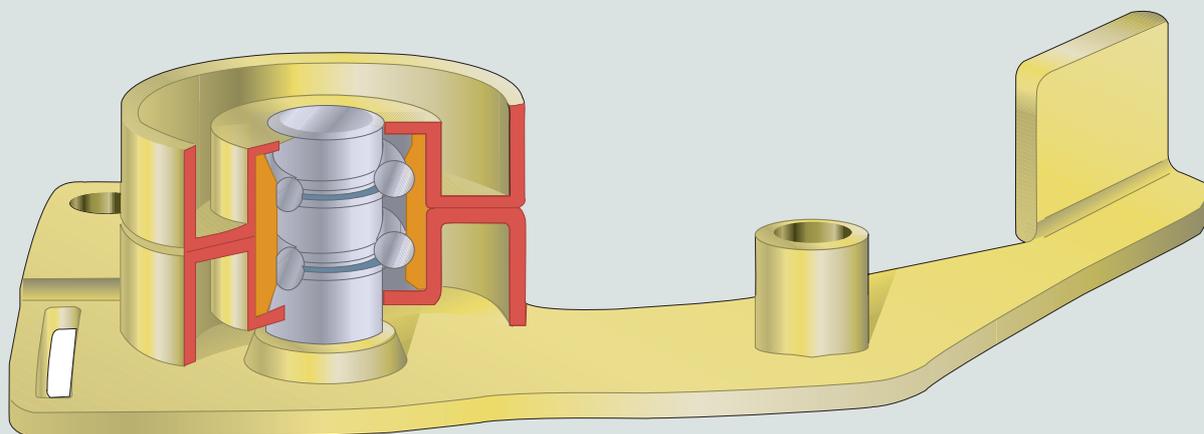
MUNDO TÉCNICO

Tensor de distribución

El tensor de distribución o móvil, garantiza la tensión correcta de la correa. Puede incorporar un soporte o un aro interior excéntrico y permite un ajuste automático en el montaje mediante un muelle. SKF ha desarrollado un sistema que permite que el tensor se vaya ajustando auto-

máticamente durante su funcionamiento dependiendo del par transmitido en cada momento, asegurando así prácticamente a la perfección la tensión especificada en cada caso.

Los principales diseños actualmente en uso son:



↑ **Figura 11.34.** Tensor con placa trasera.



↑ **Figura 11.35.** Tensor con excéntrica.



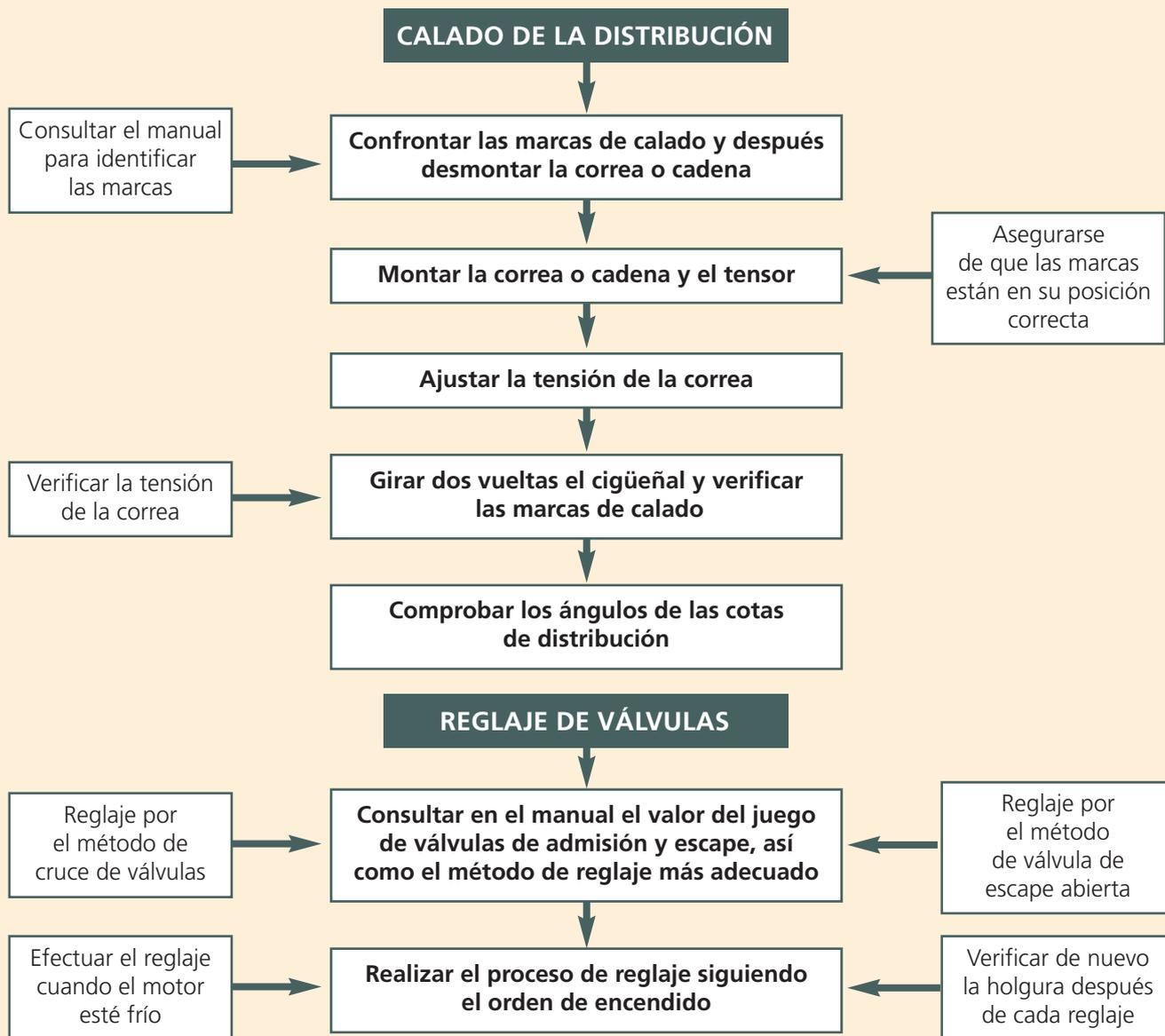
↑ **Figura 11.36.** Tensor automático con muelle y sistema de fricción.



↑ **Figura 11.37.** Tensor automático con regulador.

Fuente: SKF

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.itacr.com/boletinAE.html>
- http://www.gti16.com/usr/coco/a3_distrib/a3_distrib.html
- <http://www.youtube.com/watch?v=08fC5UC3Rrw>
- http://www.gates.com/europe/quad-power/es/Construction_features_es.html
- http://www.gates.com/Spain/brochure.cfm?brochure=8116&location_id=11766
- http://www.gates.com/spain/downloads/download_common.cfm?file=70439_E4_POWERGRIP_BROCHURE_FOR_GARAGES.pdf&folder=brochure

12

Bloque motor y tren alternativo

vamos a conocer...

1. Transmisión de fuerzas
2. Bloque motor
3. Pistón
4. Biela
5. Cigüeñal

PRÁCTICA PROFESIONAL

Dimensiones de un pistón

Calcular la velocidad media de los pistones

MUNDO TÉCNICO

Tipos de pistones



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la función del tren alternativo y las fuerzas que sobre él actúan.
- Analizarás la constitución y características del bloque motor.
- Conocerás las características constructivas de los elementos que componen el tren alternativo.

situación de partida

Javier, que anda buscando un coche deportivo de segunda mano que económicamente no sea muy caro, visita a su amigo Luis, propietario de un taller y le comenta la situación, añade que ha visto ya varios vehículos, pero el que más le atrae es un PORSCHE 928 S2, que según le ha comentado el propietario, tiene un precio muy bueno pero el motor está roto.

Javier le pide a Luis que le acompañe para que hable con el propietario, y saber exactamente lo que le ha ocurrido al motor, ya que Javier es un desconocedor de la mecánica, y le gustaría saber exactamente cuál es el alcance de la rotura para poder hacer una valoración económica lo más exacta posible, además, tiene inquietud por conocer los elementos que componen internamente el motor, así como su principio de funcionamiento. Tras la conversación mantenida entre el propietario, Luis y Javier, se llega al acuerdo de la compra y transporte del vehículo al taller de Luis, en donde se procede al desmontaje para valorar exactamente la reparación, ya que la causa de la avería según explicó el propietario fue un gripaje del motor por problemas de engrase.

Luis, en presencia de Javier, empieza a desmontar el motor y le va comentando los elementos que se van extrayendo. Comienza explicándole que es un motor supercuadrado, de ocho cilindros con disposición en V a 90 grados y cuenta con una potencia de

229 kW. Una vez que levanta las culatas, le habla del estado de los cilindros (existen diferentes tipos).

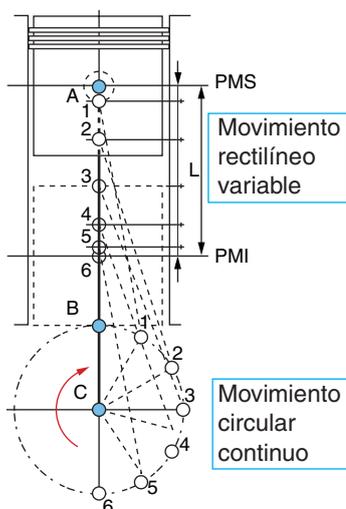
El motor tiene un bloque integral de aleación ligera refrigerado por agua y sus cilindros son camisas fundidas en el propio bloque de aluminio (su aspecto no es malo), continúa con el desmontaje y extrae el cigüeñal, junto con sus cojinetes, en donde se aprecia un gran desperfecto por la falta de engrase. Las muñequillas del cigüeñal no están rayadas pero los cojinetes se encuentran en mal estado y tienen desprendido el material antifricción. A continuación aparecen las bielas que, excepto sus cojinetes, todo lo demás está en buen estado.

Luis comenta a Javier que están observando los pistones, que son elementos que tienen unas condiciones duras de trabajo, y que este motor los lleva forjados ya que soportan más esfuerzos y son más ligeros. Su aspecto también es bueno, lo mismo que los segmentos, que una vez comprobada su apertura entre puntas se observa un ligero desgaste pero dentro de tolerancias. Finalmente, Luis le resume a Javier que la reparación no es excesivamente cara ya que solo hay que reponer cojinetes de bancada y biela, además de los complementos obligados por el desmontaje del motor.

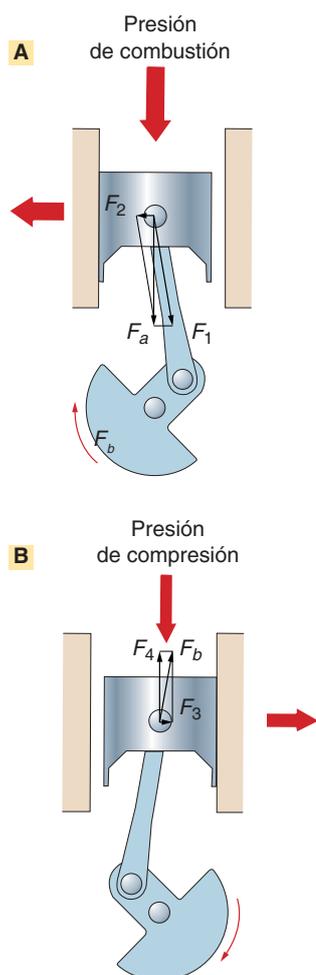
estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuántas culatas tiene el motor del coche de Javier?
2. ¿Conoces alguna forma de refrigerar el bloque a parte del líquido?
3. ¿Sabes que es un motor supercuadrado?
4. ¿Sabrías decir si los pistones son exactamente cilíndricos? Razona la respuesta.
5. Nombra algún complemento que sea necesario poner al motor después de haberlo desmontado.
6. ¿Por qué crees que el cigüeñal no se ha dañado?



↑ **Figura 12.1.** Mecanismo del pistón, biela y cigüeñal.



↑ **Figura 12.2.** Fuerzas que actúan sobre el pistón.

1. Transmisión de fuerzas

El tren alternativo, compuesto por el conjunto de pistón, biela y cigüeñal, tiene la doble misión de transmitir la fuerza originada en la combustión y transformar el movimiento alternativo del pistón en movimiento de rotación en el cigüeñal (figura 12.1).

El sistema va articulado en el bulón (A) y en la muñequilla (B), siendo el eje del cigüeñal (C) el centro de giro.

El pistón se desplaza dentro del cilindro con un movimiento rectilíneo y con velocidad variable, la biela lo transmite a la muñequilla del cigüeñal donde se transforma en un movimiento circular continuo.

1.1. Fuerzas que actúan sobre el pistón

El pistón desciende impulsado por la presión de combustión y asciende empujado por el cigüeñal, gracias a la fuerza aportada por el volante de inercia. En cada uno de estos movimientos, la biela cambia de posición, por lo que las fuerzas que actúan sobre el pistón obligan a este a apoyarse en las paredes del cilindro.

- **Descenso.** La fuerza que actúa sobre la cabeza del pistón se transmite a la biela a través del bulón (A-figura 12.2). En este punto articulado la fuerza resultante (F_a) se descompone en dos. Una en la misma dirección de la biela (F_1) y otra perpendicular al desplazamiento del pistón (F_2), haciendo que este se apoye contra la pared del cilindro.
- **Ascenso.** El bulón (B-figura 12.2) recibe la fuerza (F_b), que se descompone en dos. Una en el sentido en el que se desplaza el pistón (F_4), y otra lateral (F_3), causante del apoyo del pistón en la pared del cilindro, en este caso en la zona opuesta al descenso.

El apoyo lateral del pistón es la causa del desgaste irregular del cilindro que produce el **ovalamiento**. El desgaste es más importante en el lado en el que roza el pistón cuando desciende en expansión, ya que en este tiempo las fuerzas son de mayor magnitud que en el de compresión. También se produce **conicidad**, puesto que las fuerzas sobre el pistón son de mayor intensidad en las proximidades del PMS, y por tanto, hay mayor desgaste en esta zona que en la parte inferior del cilindro.

En algunos casos se recurre al montaje del **mecanismo biela-manivela descentrado**, es decir, el eje longitudinal del pistón no coincide con el eje de giro del cigüeñal, con el fin de que el desgaste del cilindro sea igual en ambos lados. Existen dos posibles soluciones: la más empleada consiste en desplazar el eje del pistón (figura 12.3), en otros casos se desplaza el eje del cigüeñal.

El resultado de este desplazamiento es que disminuye la desviación angular de la biela durante la carrera descendente, con lo cual el esfuerzo lateral del pistón es menor. Sin embargo, aumenta el ángulo de la biela en la carrera ascendente, pero en este sentido las fuerzas que actúan sobre el pistón son menores, quedando compensado el desgaste en ambos lados del cilindro.

1.2. Velocidad del pistón

Para conseguir una vuelta de cigüeñal, el pistón debe efectuar dos carreras. En cada una de ellas el pistón acelera hasta su velocidad máxima y después decelera hasta cero para hacer el cambio de sentido en los puntos muertos superior e inferior. De este mo-

vimiento variable se puede obtener una velocidad media del pistón que estará en función de la carrera del pistón y del número de revoluciones del cigüeñal.

$$v_m = \frac{2 \cdot L \cdot n}{60} = \frac{L \cdot n}{30}$$

$$v_m = \frac{L \cdot n}{30}$$

v_m = velocidad media del pistón (m/s)
 L = carrera en metros
 n = revoluciones por minuto

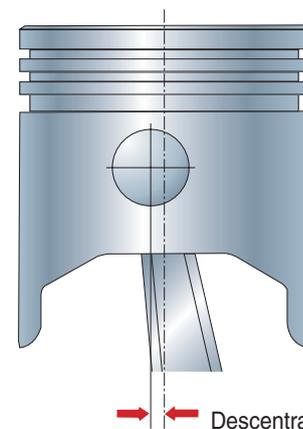
Las altas velocidades del pistón aceleran el desgaste de los cilindros, además provocan elevadas fuerzas de inercia, por lo que someten a grandes esfuerzos a todo el conjunto.

La velocidad media del pistón se sitúa entre 10 y 15 m/s, y no debe superar los 18 m/s, con el fin de evitar desgastes prematuros en los cilindros.

Para poder obtener un elevado número de revoluciones sin que aumente en exceso la velocidad del pistón se fabrican motores de carrera corta en los que la carrera es ligeramente menor que el diámetro.

Generalmente se emplean carreras de medida muy aproximada a la del diámetro, ya que una carrera muy corta empeora el llenado de los cilindros. Por tanto, se tiende a buscar el equilibrio entre un buen llenado y un desgaste de cilindro moderado.

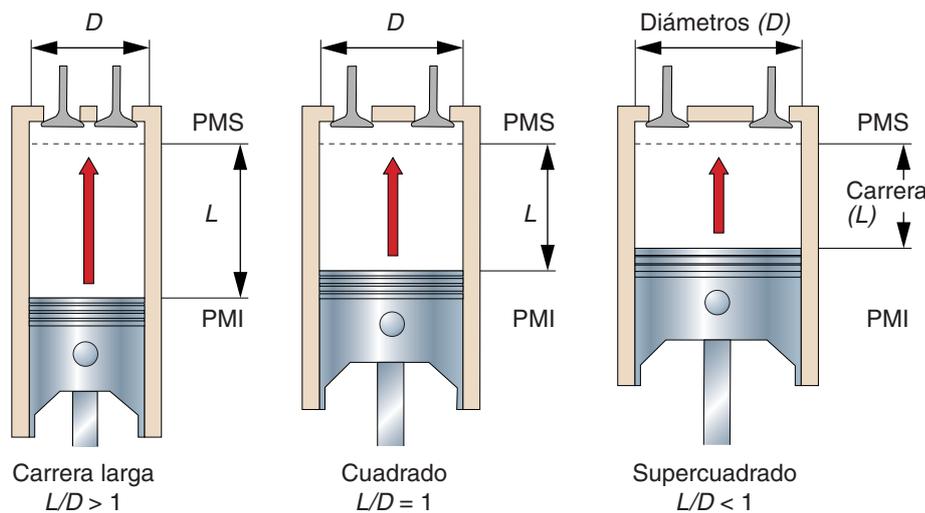
La relación entre carrera y diámetro (L/D) suele ser de 0,85 a 1,2 (figura 12.4).



↑ **Figura 12.3.** Desplazamiento del eje del pistón.

caso práctico inicial

El Porsche 928 tiene una carrera corta con una relación entre carrera y diámetro de 0,81 para poder alcanzar un alto número de revoluciones.



← **Figura 12.4.** Relación entre carrera y diámetro.

EJEMPLO

Un motor tiene una carrera de 78 mm, ¿cuál es la velocidad media del pistón a 5.000 rpm?

Solución:

$$L = 78 \text{ mm} = 0,078 \text{ m}$$

$$v_m = \frac{0,078 \cdot 5.000}{30} = 13 \text{ m/s}$$



1.3. Fuerzas que actúan sobre el cigüeñal

caso práctico inicial

Sobre el cigüeñal del motor del caso inicial se ejerce un esfuerzo bastante considerable teniendo en cuenta que el motor dispone de un par de 407 Nm a 4.100 rpm.

El **par motor** se ha definido como el producto de la fuerza aplicada sobre la muñequilla del cigüeñal por la longitud del brazo de palanca, siempre que dicha fuerza se aplique en ángulo recto.

La longitud eficaz del brazo de palanca (P) varía con el ángulo que va tomando la biela con respecto al cigüeñal (B y C-figura 12.5). Esto da lugar a un par motor irregular durante el giro que ha de ser compensado por el volante de inercia.

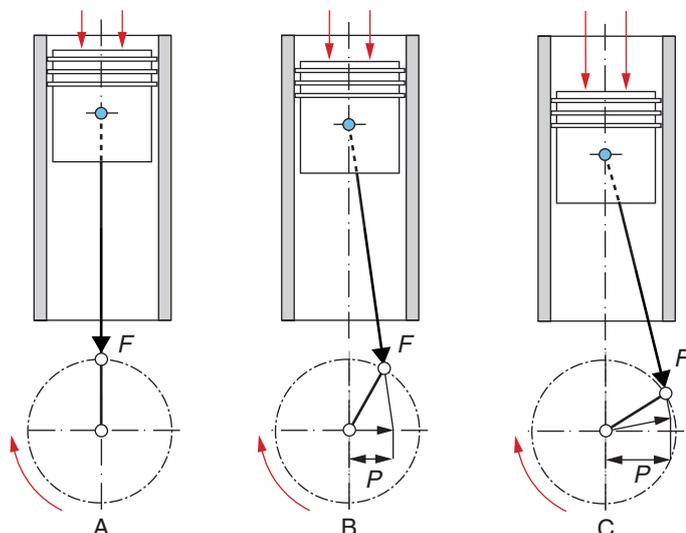
La fuerza que actúa sobre la muñequilla (F) se descompone en dos fuerzas perpendiculares entre sí (figura 12.6). Una de ellas es tangencial al círculo del cigüeñal (F_1) y proporciona el trabajo de giro, la otra fuerza se ejerce sobre el apoyo del cigüeñal (F_2) y somete a un gran esfuerzo a los cojinetes. El valor de cada una de estas fuerzas va cambiando a medida que varía el ángulo de la muñequilla.

Cuando el pistón se encuentra en el PMS, la biela queda alineada con el brazo del cigüeñal (A-figura 12.5), entonces no existe par de fuerzas y se carga toda la presión sobre los cojinetes de muñequilla y apoyo del cigüeñal y sobre el bulón.

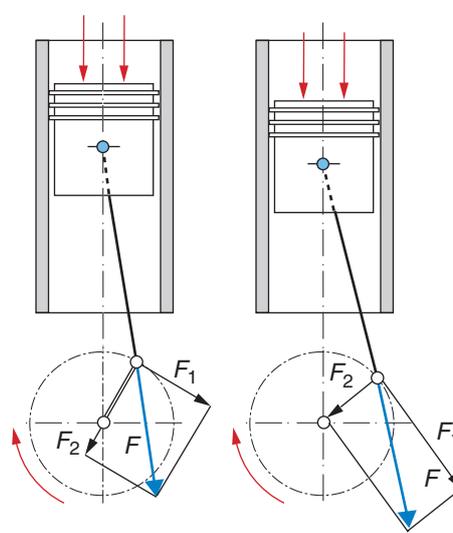
Esta zona sufre un mayor desgaste, y como consecuencia se produce el ovalamiento de los cojinetes.

La fuerza ejercida sobre el pistón no se transmite íntegramente al cigüeñal ya que, como se ha visto, parte de esta fuerza se emplea en vencer inercias y rozamientos que originan desgastes en el motor como los siguientes:

- Desgastes en las paredes del cilindro por el apoyo lateral de pistón.
- Desgastes en los cojinetes de apoyos y muñequillas del cigüeñal por las elevadas cargas que sobre ellos se aplican.
- Efectos de inercia por las altas velocidades del pistón.



↑ Figura 12.5. Variación del brazo de palanca (P).



↑ Figura 12.6. Descomposición de fuerzas sobre la muñequilla del cigüeñal.

2. Bloque motor

El bloque motor constituye el cuerpo o estructura básica que soporta todos los demás elementos del motor (figura 12.7). Su principal característica ha de ser la rigidez para que sea capaz de resistir grandes esfuerzos sin sufrir deformaciones.

El bloque contiene los cilindros y la bancada sobre la que se apoya y gira el cigüeñal. Además está provisto de canalizaciones de aceite para el engrase y de cámaras para el líquido de refrigeración.

La parte superior del bloque es perfectamente plana para hacer un cierre hermético con la culata interponiendo una junta. En su parte inferior se atornilla el cárter, que sirve como depósito para el aceite de engrase.

En motores con distribución OHV, el árbol de levas se monta paralelo al cigüeñal y gira sobre cojinetes de fricción practicados en el bloque.

La forma y dimensiones del bloque varía en función del número y disposición de los cilindros, según se trate de cilindros en línea, horizontales opuestos o en V.

2.1. Fabricación del bloque

El bloque se fabrica generalmente en una sola pieza mediante fundición. Los materiales que se emplean son hierro fundido o aleación ligera.

Los bloques de **hierro fundido** tienen buenas propiedades de resistencia mecánica, una alta rigidez y un buen comportamiento frente a las elevadas temperaturas que soporta. Su principal inconveniente es su elevado peso.

La **aleación ligera** está compuesta esencialmente por aluminio y silicio. Las principales ventajas de esta aleación son su bajo peso y su buena conductividad térmica, aunque la resistencia mecánica y la rigidez son menores que en los de hierro fundido.

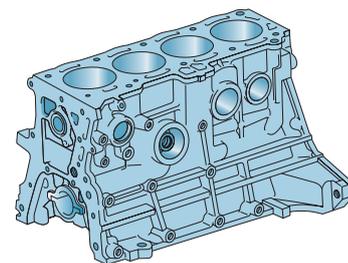
El **bloque refrigerado por agua** es el tipo empleado generalmente en los motores de cuatro tiempos. Alrededor de los cilindros se disponen unas cámaras por las que circula el líquido refrigerante, pasando después hacia la culata y de aquí al radiador.

El **bloque refrigerado por aire** se construye con los cilindros independientes para facilitar el acceso del aire, y están dotados de aletas de refrigeración que mejoran el intercambio de calor (figura 16.2). Se emplea, sobre todo, en motores con cilindros horizontales opuestos y en motores de pequeña cilindrada para motocicletas.

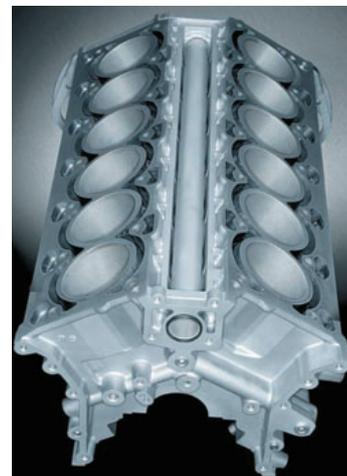
2.2. La bancada

Está constituida por los asientos sobre los que se apoya el eje del cigüeñal, forma parte del bloque, está firmemente sujeto a él y reforzada con nervaduras que le proporcionan una gran resistencia (figura 12.9).

Cada uno de los apoyos está constituido por una parte unida a la bancada y otra desmontable denominada sombrerete o tapa, ambas partes se unen mediante tornillos y en su interior se alojan dos semicojinetes.



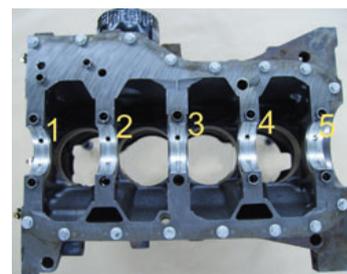
↑ Figura 12.7. Bloque motor de 4 cilindros en línea.



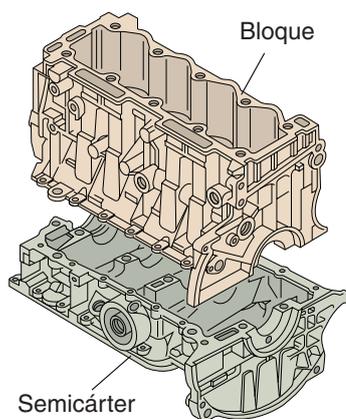
↑ Figura 12.8. Bloque V12 de aleación ligera.

caso práctico inicial

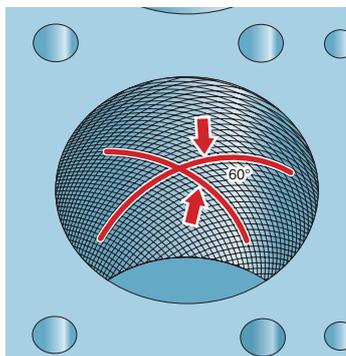
El Porsche 928 monta un bloque de aleación ligera con refrigeración líquida.



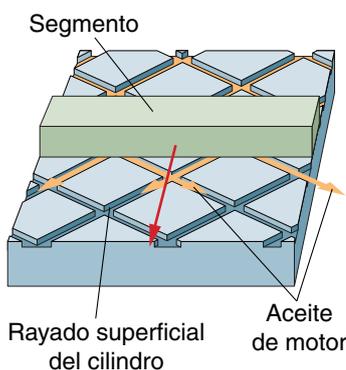
↑ Figura 12.9. Bancada con cinco apoyos.



↑ **Figura 12.10.** Bloque de aleación ligera con semicárter.



↑ **Figura 12.11.** Esmerilado superficial del cilindro.



↑ **Figura 12.12.** Lubricación de los segmentos.

En los bloques de aluminio, estas tapas no son independientes sino que, para obtener mayor rigidez, se montan en una sola pieza denominada semicárter de apoyos de cigüeñal (figura 12.10).

2.3. Los cilindros

Los cilindros son la parte más importante de las que forman el bloque, de su durabilidad depende en gran medida la vida útil del motor.

Los cilindros deben soportar las altas presiones y temperaturas de la combustión, además del rozamiento constante de los segmentos y del pistón, por lo que deben reunir ciertas características como son:

- Resistencia al desgaste.
- Buena conductividad térmica.
- Buenas cualidades de deslizamiento.

El mecanizado interior del cilindro se acaba con un esmerilado o bruñido superficial que produce un rayado con inclinación de 45° o 60° (figura 12.11). El estriado de la superficie de los cilindros permite retener el aceite y lubrica el rozamiento con los segmentos (figura 12.12).

Durante el rodaje del motor el rayado es desgastado en parte por el rozamiento de los segmentos, de tal forma que se obtiene un buen acoplamiento entre el cilindro y los segmentos en los primeros kilómetros de funcionamiento de un motor.

2.4. Formación de los cilindros en el bloque

En los motores para automoción se emplean dos sistemas diferentes:

- **El bloque integral.**
- **El bloque con camisas.**

Bloque integral

Los cilindros se elaboran directamente sobre el material del bloque (A-figura 12.13), y se mecanizan a la medida final después de la fundición. Este procedimiento es muy empleado en la actualidad. Para reparar el bloque integral es necesario utilizar una máquina rectificadora.

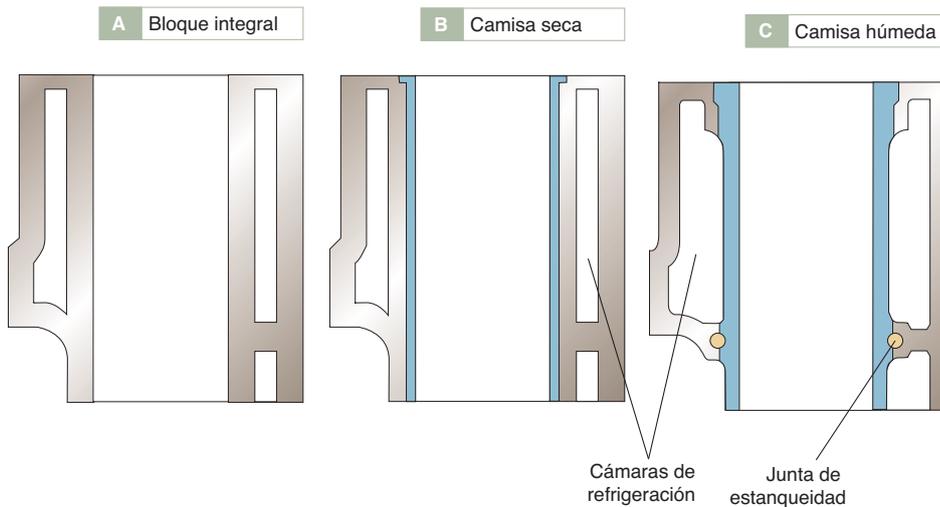
Bloque con camisas

Las camisas son unos cilindros postizos desmontables de su alojamiento en el bloque. Tienen la ventaja de que se pueden fabricar con materiales diferentes a los del bloque y que poseen mejores cualidades. En caso de avería o desgaste no es necesario repararlos, ya que se pueden sustituir fácilmente. El coste de fabricación es mayor que el bloque integral.

Las camisas pueden ser de dos tipos:

- **Camisas secas.**
- **Camisas húmedas.**

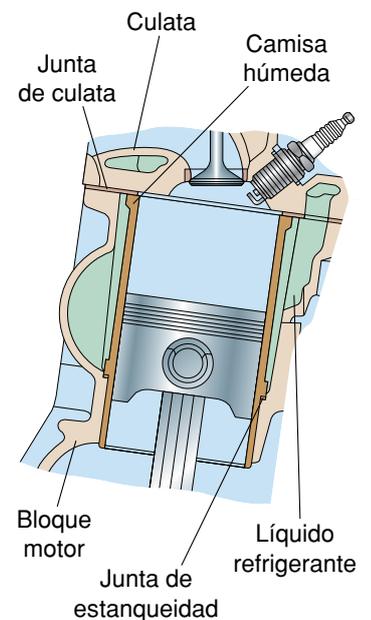
Las **camisas secas** son cilindros de paredes delgadas que se montan con interferencia sobre los orificios del bloque y forman una especie de forro interior para el cilindro (B-figura 12.13). Este sistema de fijación asegura un buen contacto entre las paredes de la camisa y del bloque para la transmisión de calor al líquido de refrigeración.



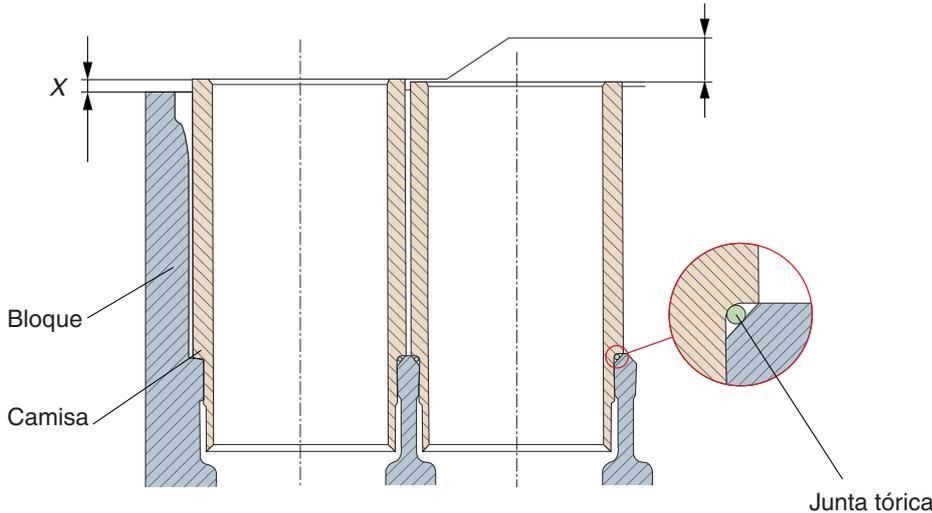
↑ **Figura 12.13.** Tipos de cilindros.

Se fabrican con materiales más resistentes que los del bloque, por lo que son muy utilizadas en motores Diesel.

Las **camisas húmedas** van en contacto directo con el líquido de refrigeración (C-figura 12.13). Forman un verdadero cilindro desmontable ya que el bloque se fabrica hueco. Se ajustan en el bloque apoyadas sobre unos asientos provistos de juntas de estanqueidad, para evitar que el agua pase al cárter de aceite. Las camisas sobresalen ligeramente del plano superior del bloque, (X-figura 12.15) de tal forma que quedan firmemente fijadas al apretar la culata.



↑ **Figura 12.14.** Motor con camisas húmedas.

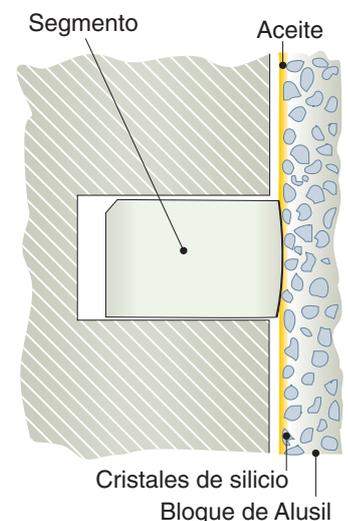


↑ **Figura 12.15.** Instalación de camisas húmedas en el bloque.

Los cilindros en el bloque de aluminio

Las nuevas aleaciones de aluminio que se emplean en la fabricación de bloques de aleación ligera (Alusil y Lokasil), están compuestas de aluminio y un porcentaje variable de silicio (del 17 al 25%. Por ejemplo Alusil Al Si₁₇ Cu₄ Mg). Se añaden cristales de silicio puro, la presencia de estos cristales en la estructura aporta una gran dureza al material. Los cilindros se elaboran sobre este material como bloque integral (figura 12.16).

Las ventajas son: bajo peso, excelente conductividad térmica, gran resistencia al desgaste y alta rigidez estructural. Los cilindros se pueden rectificar para su reparación.



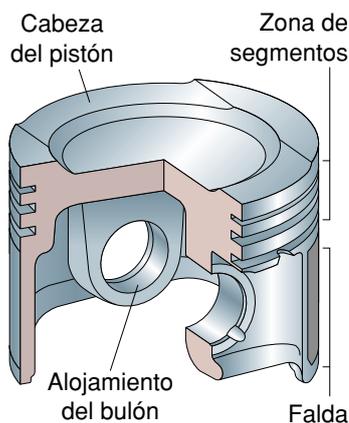
↑ **Figura 12.16.** Bloque integral de Alusil.



3. Pistón

El pistón o émbolo recibe directamente la presión producida por la combustión de los gases y transmite la fuerza a la biela a través del bulón. El pistón debe cumplir además otras funciones:

- Mantener la estanqueidad de los gases impidiendo que pasen al cárter mientras se desplaza el pistón y evitar que el aceite pase a la cámara de combustión.
- Transmitir el exceso de calor que recibe durante la combustión a las paredes del cilindro para ser evacuado al sistema de refrigeración.



↑ **Figura 12.17.** Constitución del pistón.

3.1. Constitución

En el pistón pueden distinguirse las partes que a continuación se detallan (figura 12.17):

- La cabeza.
- La zona de segmentos.
- El alojamiento del bulón.
- La falda o el vástago.

La **cabeza** es la parte superior del pistón, debe poseer alta resistencia mecánica y muy buena conductividad térmica. Su espesor está en función de la cantidad de calor que debe evacuar y de la presión máxima por soportar.

La cabeza puede adoptar formas muy diferentes: puede ser plana o ligeramente abombada hacia dentro o hacia fuera, lo que contribuye a dar la forma adecuada a la cámara de combustión. En los motores Diesel la cámara se aloja totalmente o en parte en la cabeza del pistón y en los motores Otto de inyección directa los pistones montan deflectores con formas muy variadas (figura 12.20).

La **zona de segmentos** contiene los alojamientos o cajas donde se sitúan los segmentos, generalmente dos de compresión y uno rascador. La caja del segmento rascador incorpora unos orificios o ranura que comunican con el interior del pistón. Cumplen la misión de evacuar el aceite, y en algunos casos engrasar el bulón (figura 12.24).

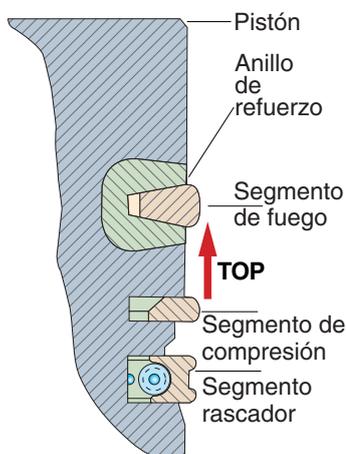
Los alojamientos están sometidos a un constante golpeteo del segmento, por el movimiento alternativo del pistón, produciendo desgastes importantes. En los pistones para Diesel que son muy solicitados, los alojamientos del primer segmento se refuerzan mediante anillos de acero insertados interiormente (figura 12.18).

El **alojamiento del bulón** es la zona más reforzada del pistón, ya que está encargada de transmitir el esfuerzo a la biela.

Está formada por los cubos donde se aloja el bulón, convenientemente reforzados por nervios que se apoyan contra la cabeza del pistón. Queda situado, aproximadamente, en el centro de gravedad del pistón y, a veces, se descentra su eje entre 0,5 y 2 mm (figura 12.3).

La **falda** o el **vástago** constituye la parte inferior del pistón y su misión es guiar a la parte superior y evitar el cabeceo del pistón. Para ello la holgura con el cilindro ha de ser reducida.

En los motores Otto es habitual practicar unos rebajes en la falda del pistón, en la zona alineada con el bulón, para reducir peso.



↑ **Figura 12.18.** Pistón de motor Diesel con anillo de refuerzo.

3.2. Condiciones de funcionamiento

Los pistones trabajan bajo unas condiciones de temperatura y presión muy elevadas.

La **temperatura** que alcanza el pistón durante su funcionamiento es diferente en cada una de sus partes: la cabeza y la zona del bulón son las más calientes, pues alcanzan entre 250° y 350 °C, y en la falda, unos 150 °C.

La mayor parte del calor es evacuado a través de los segmentos, por estar en contacto con las paredes del cilindro, y otra parte pasa a través de la falda.

En motores Diesel sobrealimentados, los pistones están expuestos a muy altas temperaturas, para refrigerarlos se instalan surtidores que proporcionan un chorro de aceite dirigido interiormente sobre la cabeza del pistón (figura 12.20). Los pistones pueden tener canales interiores por los que circula el aceite refrigerando la zona inferior de la cámara de combustión.

La **presión** obtenida en la combustión se aplica sobre la superficie de la cabeza del pistón (*s*). Como ejemplo se calcula la fuerza máxima (*F*) instantánea que actúa sobre un pistón de 80 mm de diámetro (*D*), de un motor cuya presión de combustión (*P*) es de 40 bares.

$$F = p \cdot s$$

$$s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} = 50 \text{ cm}^2$$

$$F = 40 \cdot 50 = 2.000 \text{ N}$$

3.3. Fabricación de pistones

Debido a las duras condiciones en las que trabajan, los pistones deben reunir ciertas cualidades:

- Ligereza.
- Constitución robusta.
- Buenas cualidades de deslizamiento.
- Bajo coeficiente de dilatación.
- Buena conductividad térmica.

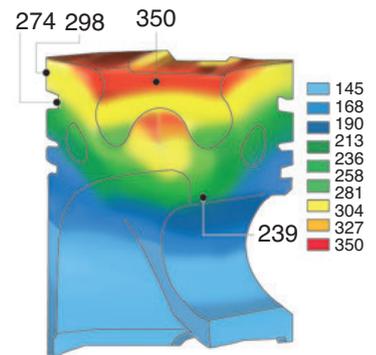
En la fabricación de pistones se emplean de forma generalizada aleaciones de aluminio y silicio, se añaden además pequeñas cantidades de cobre y níquel. Este material posee buena conductividad térmica, es muy ligero y altamente resistente.

Se emplean dos métodos en la fabricación de pistones: fundición o forja.

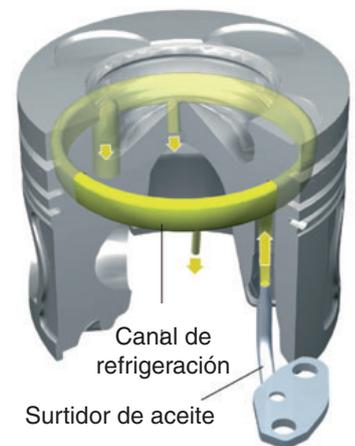
Los **pistones fundidos** son mecanizados y sometidos a tratamiento de templeado para mejorar sus cualidades de dureza y resistencia al desgaste.

Los **pistones forjados** se utilizan en motores de alto rendimiento por sus cualidades de resistencia y durabilidad. El forjado moldea la forma del pistón sin que haya ninguna rotura en su estructura, el proceso además elimina porosidad en el metal.

Estos pistones pueden soportar mayores esfuerzos que los fundidos, son más ligeros y resistentes a las rayaduras.



↑ Figura 12.19. Temperatura del pistón.



↑ Figura 12.20. Pistón refrigerado para Diesel de inyección directa.



↑ Figura 12.21. Pistón ligero para motor de gasolina.

caso práctico inicial

Los motores deportivos de altas prestaciones equipan pistones forjados.



↑ **Figura 12.22.** Pistón compuesto por dos metales (ferrotherm).

La forma constructiva de los pistones es muy variada y en general se adapta al tipo de motor y a sus condiciones de funcionamiento: pistones para motores de 2 o de 4 tiempos, para Diesel o gasolina, para inyección directa o indirecta.

En motores Diesel sometidos a elevadas cargas se utilizan pistones forjados que pueden incorporar los siguientes dispositivos: anillo de refuerzo en el segmento de fuego, canal para el aceite de refrigeración y en algunos casos una protección adicional en la cabeza mediante una capa de anodización.

También se emplea en estos motores un tipo de pistón compuesto por dos metales, una cabeza de acero y falda de aluminio. Presentan una elevada solidez y reducidos valores de desgaste (figura 12.22).

Los pistones nuevos reciben en su falda un tratamiento superficial para disminuir la fricción. Este tratamiento consiste en depositar sobre el aluminio una fina capa de estaño o plomo, también se emplea polvo de grafito que proporciona protección superficial y buenas cualidades deslizantes (figura 12.23).

Con esta técnica se consigue acortar el tiempo de rodaje o periodo de adaptación entre el pistón y el cilindro.

3.4. Dilatación del pistón

Considerando que el coeficiente de dilatación térmica del pistón es mayor que el del cilindro, y que dicha dilatación no se produce por igual en todas sus zonas, es necesario emplear un sistema de control, de forma que se evite el riesgo de gripado sin que el consumo de aceite sea excesivo (figura 12.24).

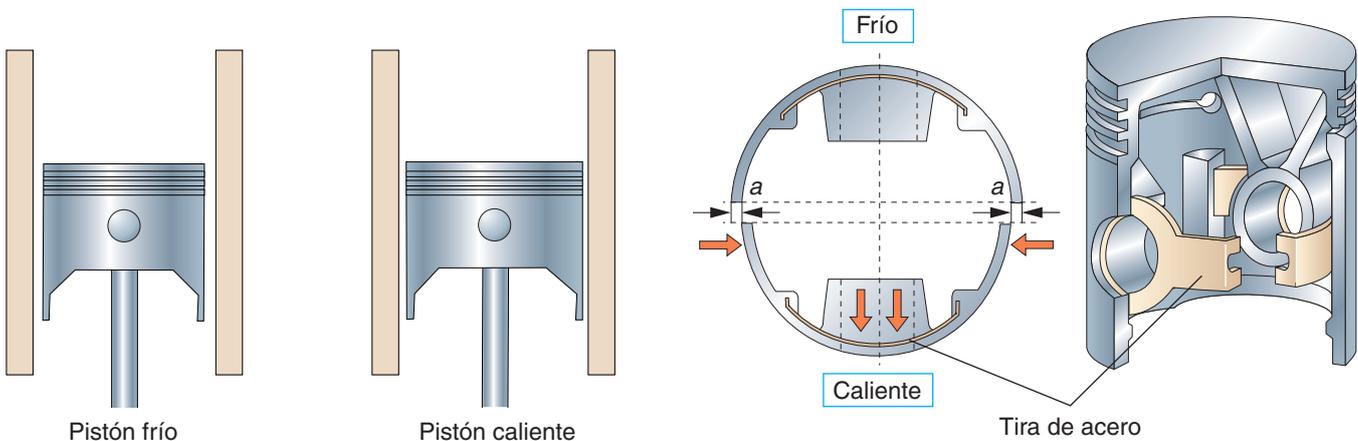
Un pistón frío no es exactamente cilíndrico, la zona de segmentos es de menor diámetro que la falda, además presenta un ligero ovalamiento que debe desaparecer a medida que el pistón aumenta su temperatura. Se utilizan diferentes métodos para controlar la dilatación térmica del pistón.



↑ **Figura 12.23.** Pistón con tratamiento superficial.

Pistón autotérmico con tiras de acero

Se emplea en motores de cuatro tiempos refrigerados por agua o por aire. Consiste en insertar unas láminas de acero en la zona del bulón, para formar un cuerpo bimetálico debido al diferente coeficiente de dilatación del acero y del metal ligero (figura 12.25). Cuando aumenta la temperatura, las tiras adquieren una curvatura que obligan al pistón a dilatarse solamente en la dirección del bulón, evitando la dilatación en las zonas de mayor rozamiento, es decir, perpendicularmente al eje del bulón.



↑ **Figura 12.24.** Dilatación del pistón.

↑ **Figura 12.25.** Efecto bimetálico en un pistón autotérmico.

3.5. Segmentos del pistón

Los segmentos son unos anillos elásticos que se montan sobre los alojamientos practicados en el pistón (figura 12.26). Desarrollan tres funciones principales:

- Asegurar la estanqueidad de los gases.
- Evacuar calor hacia el cilindro.
- Evitar que pase aceite a la cámara de combustión.

Para cumplir estas funciones existen dos tipos de segmentos: segmentos de compresión y segmentos rascadores o de control de aceite.

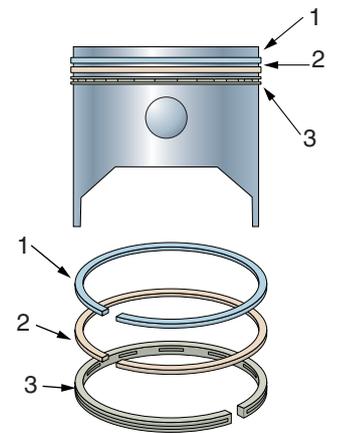
Segmentos de compresión

Son los encargados de hacer el cierre hermético con el cilindro y de evacuar gran parte del calor. Generalmente se montan dos segmentos de compresión (figura 12.27) y tres en algunos Diesel de gran cilindrada.

El segmento superior se denomina «de fuego» pues está expuesto a la llama de la combustión.

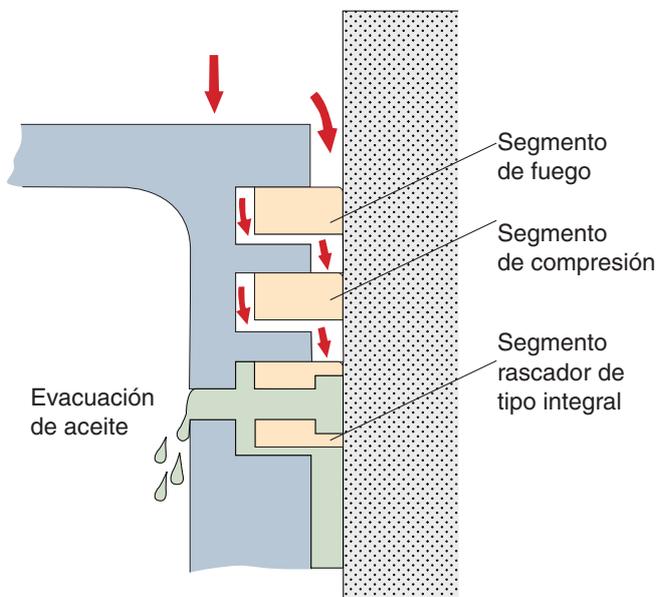
La zona entre este segmento y el plano superior del pistón se denomina «cordón de fuego» y su altura viene determinada por la cantidad de calor que debe evacuar, ya que si el segmento se calienta en exceso puede formarse carbonilla en su alojamiento y dejarlo bloqueado impidiendo su expansión.

Los segmentos deben moverse en sus alojamientos libremente con una holgura axial calculada que pueda absorber la dilatación térmica. Igualmente, una abertura entre puntas es necesaria para asegurar en todo momento una presión radial del segmento sobre las paredes del cilindro a pesar de las dilataciones y del desgaste (figura 12.28).

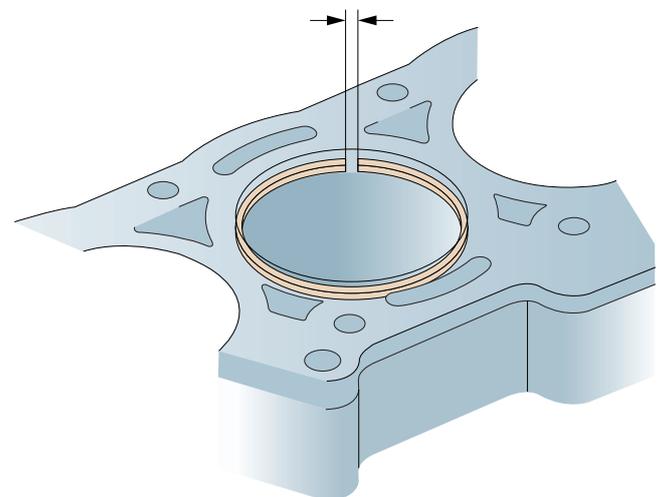


1. Segmento de fuego
2. Segmento de compresión
3. Segmento rascador

↑ Figura 12.26. Segmentos del pistón.



↑ Figura 12.27. Segmentos trabajando sobre el cilindro.



↑ Figura 12.28. Apertura entre puntas del segmento.



SECCIÓN DEL SEGMENTO	
	Rectangular
	Rectangular con chaflán interior
	Cónico exterior
	Trapezoidal interior
	De uña
	Rascador integral
	Rascador con expansor
	Rascador con muelle

↑ Figura 12.29. Tipos de segmentos.

Segmento rascador

Se sitúa en último lugar, por debajo de los de compresión (figura 12.27). Su cometido es recoger el aceite depositado en las paredes del cilindro para evitar que llegue a la cámara de combustión donde se quemaría formando depósitos de carbonilla. El aceite que no es arrastrado por el segmento rascador es recogido por los segmentos de compresión, y una mínima cantidad pasa a lubricar la zona alta del cilindro.

Parte del aceite recogido se evacua hacia el interior del pistón a través de unos orificios o ranuras practicadas en el interior del alojamiento del segmento. Este aceite sirve para engrasar el bulón. Los segmentos rascadores suelen ir provistos de un muelle expansor que asegura el contacto con el cilindro.

Formas más habituales de los segmentos

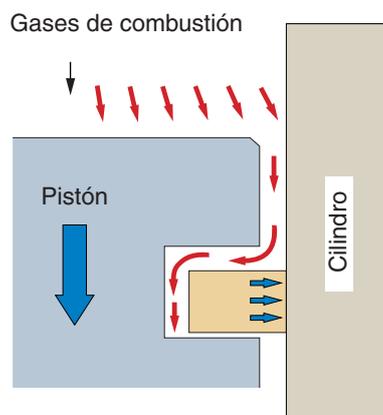
La sección de los segmentos puede adoptar diferentes formas (figura 12.29), por lo que es necesario mantener una determinada posición de montaje.

Dicha posición se indica mediante una marca (Top, C, etc.), que debe de quedar orientada hacia la cabeza del pistón.

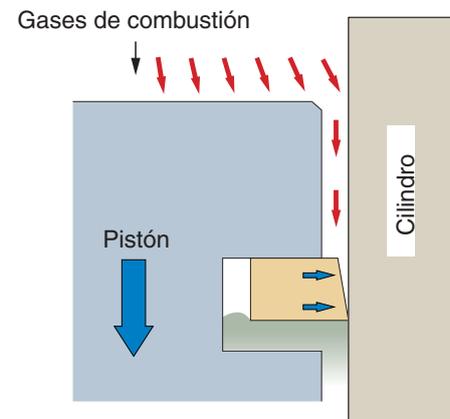
- **Segmento de sección rectangular.** Se utiliza como segmento de fuego, presenta gran superficie de contacto que facilita la estanqueidad y la evacuación de calor (figura 12.30).
- **Segmento con chaflán interior.** Durante el descenso del pistón se torsiona ligeramente al quedar acuñaado contra el cilindro, haciendo una función de segmento rascador de aceite. En el ascenso del pistón toma su posición normal, obligado por la presión, y realiza su función de estanqueidad.
- **Segmento con sección cónica exterior.** Se monta por debajo del segmento de fuego y su funcionamiento es muy similar al anterior: además de estanqueizar recoge el aceite de las paredes del cilindro (figura 12.31).

Debido a su pequeña superficie de rozamiento, tiene la ventaja de adaptarse rápidamente al cilindro durante el rodaje.

- **Segmento de uña.** Además de segmento de compresión tiene la misión de recoger el exceso de aceite.
- **Segmento con sección trapezoidal interior.** Durante el funcionamiento adquiere un movimiento basculante en ambos sentidos, lo que evita que quede enclavado en su alojamiento por acumulación de carbonilla. Se emplea como segmento de fuego en motores Diesel.

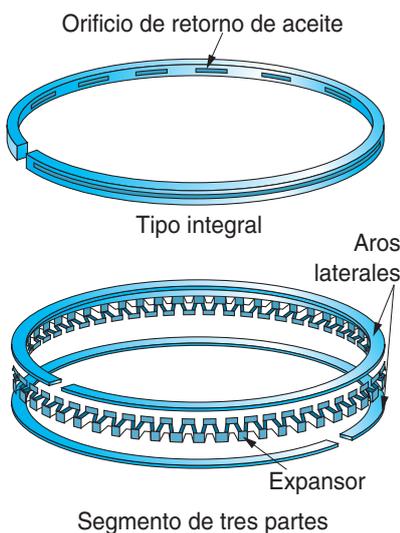


↑ Figura 12.30. Segmento de sección rectangular.

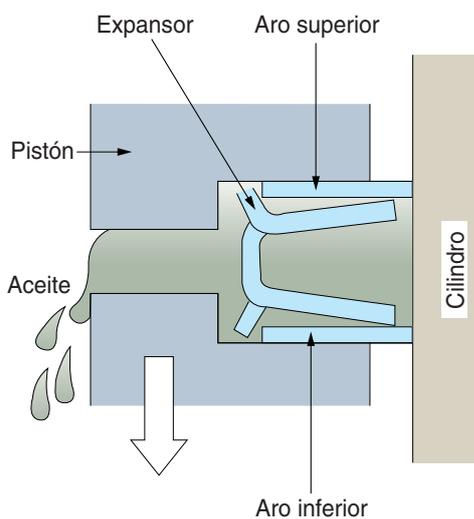


↑ Figura 12.31. Segmento de sección cónica exterior.

- **Segmentos rascadores.** Pueden ser integrales, constituidos en una sola pieza con sección en U, o en varias piezas con expansor. Van provistos de orificios para el paso de aceite hacia el interior del pistón (figura 12.32).
- **Segmento de tres partes.** Es un segmento rascador formado por tres piezas, dos aros estrechos y un expansor que los mantiene pegados contra las paredes de su alojamiento (figura 12.33).



↑ **Figura 12.32.** Segmentos rascadores de aceites.



↑ **Figura 12.33.** Segmentos de aceite de tres partes.

Fabricación de los segmentos

El material empleado debe poseer gran dureza y resistencia al desgaste por rozamiento, además los segmentos han de ser muy elásticos para mantener una presión constante contra el cilindro.

Los segmentos se fabrican en hierro fundido con aleación de carbono, silicio y manganeso. En ocasiones, se aplica en su zona de rozamiento una capa de molibdeno que mejora las condiciones de deslizamiento y de conductividad térmica.

Los segmentos de fuego, por estar sometidos a temperaturas muy altas y escasa lubricación, se protegen en algunos casos con una capa de cromo que les proporciona gran dureza y mejora sus cualidades de deslizamiento.

3.6. Bulón

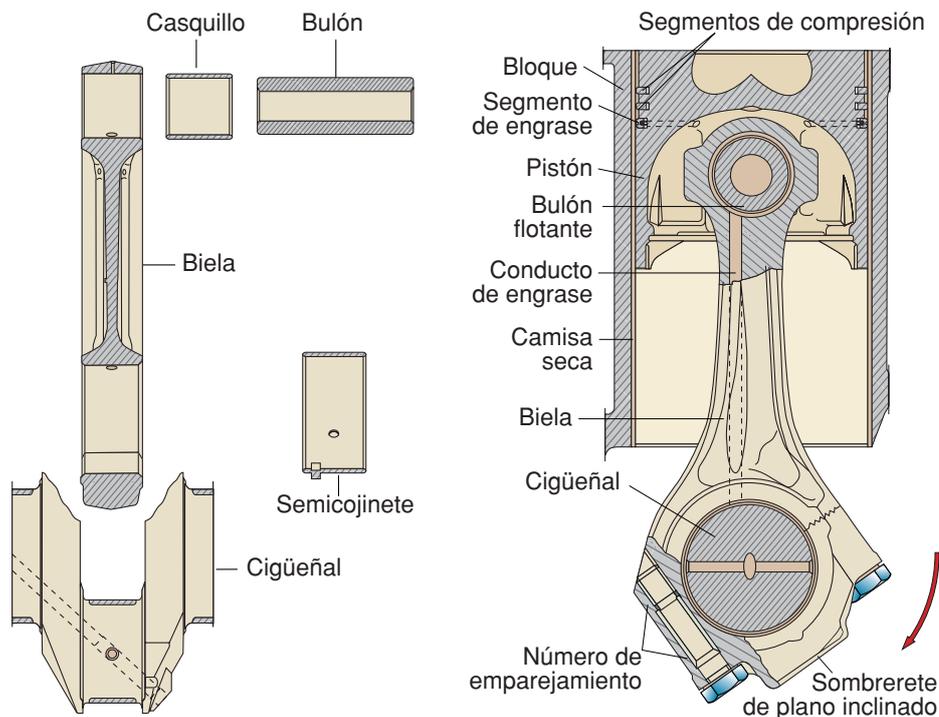
Es la pieza que articula la unión entre el pistón y la biela. Sobre él se carga toda la presión de la combustión para ser transmitida al cigüeñal, por lo que ha de tener una constitución muy robusta, pero a la vez ligera para no incrementar las fuerzas de inercia en los movimientos del pistón.

Se fabrica hueco en su interior y su diámetro exterior se calcula en función del diámetro del cilindro (D), estando entre 0,3 D y 0,4 D.

En su construcción se emplean aceros al cromo-níquel con tratamiento superficial de cementación. Para bulones destinados a motores de altas sollicitaciones se emplea acero al cromo-aluminio, con tratamiento de nitruración, para conseguir máxima dureza superficial.

4. Biela

La misión de la biela es transmitir la fuerza recibida por el pistón en la combustión hasta el cigüeñal (figura 12.34). Durante su funcionamiento la biela está sometida a esfuerzos de compresión, tracción y flexión, por lo que ha de ser muy rígida en sentido longitudinal y tener el menor peso posible.



↑ Figura 12.34. Elementos del tren alternativo.

Constitución de la biela

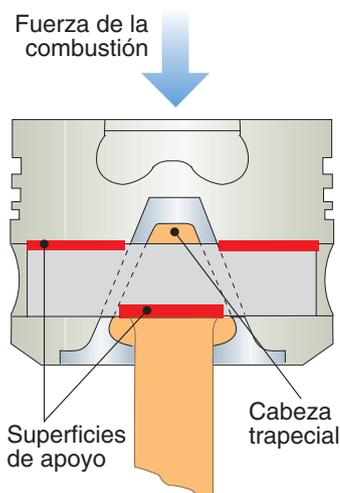
Está constituida por el pie de biela donde se aloja el bulón, la cabeza de biela que se une al cigüeñal y el cuerpo que sirve de unión entre la cabeza y el pie (figura 12.31).

Pie de biela

Constituye la unión entre el pistón y la biela a través del bulón. En algunos motores se emplea el pie de biela en forma trapecial (figura 12.35). Este diseño permite aumentar la superficie que transmite la fuerza del pistón al bulón y de este a la biela.

La unión biela y pistón tiene dos posibles montajes (figura 12.37):

- **Bulón fijo a la biela.** El bulón se monta a presión sobre el pie de biela y gira libre sobre los alojamientos del pistón (A - figura 12.37). Este sistema es sencillo ya que se prescinde del casquillo de pie de biela y no necesita anillos de seguridad en el bulón. Tiene un funcionamiento silencioso pero presenta el inconveniente de que se precisa para su montaje un calentador para dilatar el alojamiento de la biela y facilitar el montaje del bulón.



↑ Figura 12.35. Pie de biela trapecial.

- **Bulón flotante.** El bulón gira libremente sobre ambas piezas, pistón y biela (B - figura 12.37). Para evitar que el bulón se desplace y choque con las paredes del cilindro, se disponen en los extremos de su alojamiento unos anillos elásticos de seguridad.

El pie de biela lleva insertado un cojinete de bronce que debe ser lubricado, para ello se le hace llegar el aceite proveniente del segmento rascador a través de un taladro con forma cónica practicado en la parte superior de la biela. En otros casos el aceite llega a presión desde la cabeza de biela a través de una canalización.

El sistema de bulón flotante tiene la ventaja de repartir el desgaste por rozamiento entre las dos partes, pie de biela y pistón. El montaje y desmontaje puede hacerse en frío, simplemente extrayendo los anillos elásticos.

Cuerpo de la biela

Se fabrica generalmente con sección de doble T. Este diseño proporciona gran resistencia a la deformación por compresión y por flexión. La longitud de la biela está en función de la carrera del pistón, de los esfuerzos por transmitir y del régimen de giro del motor. Se tiende a reducir la longitud, con lo que se reduce también su peso.

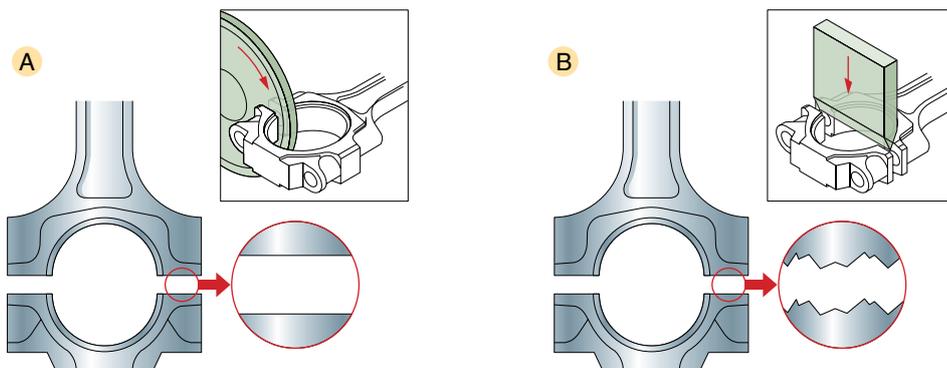
Cabeza de biela

Es la zona de la biela donde se hace la unión con la muñequilla del cigüeñal. Para facilitar su montaje se fabrica partida en dos mitades, se mecanizan sus superficies y se unen mediante tornillos, la mitad que se separa de la biela recibe el nombre de sombrerete o tapa de biela. Ambas partes suelen ir marcadas en uno de sus lados por un número que indica el lugar y la posición de montaje.

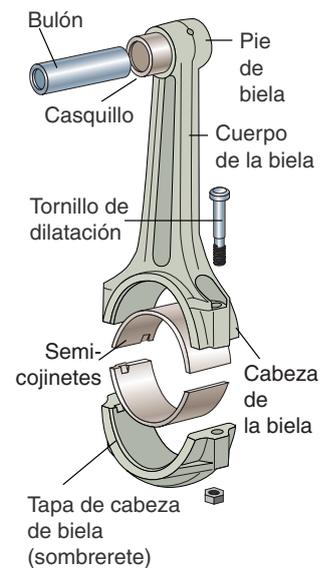
Para conseguir un buen ajuste entre la biela y su tapa en algunos motores se utiliza la técnica de craqueo. Primero se obtiene la cabeza de biela completa y se fractura ejerciendo una gran fuerza con una herramienta. Cada sombrerete solo coincide con su biela original y ambas piezas ajustan perfectamente (figura 12.38.B).

En el interior de la cabeza de biela se alojan los dos semicojinetes de fricción. Para su correcto montaje disponen de un talón de posicionado que además evita que giren en su alojamiento y hace que queden firmemente fijados cuando se realiza el apriete de la tapa.

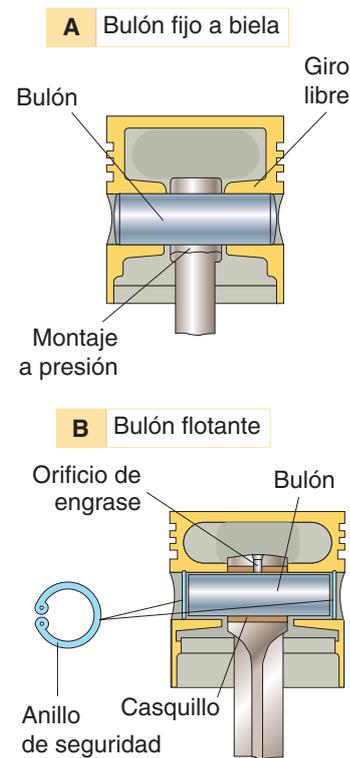
La unión del sombrerete se realiza con **tornillos de dilatación**, este tipo de tornillos dispone de una zona con diámetro calibrado (90% del diámetro del núcleo), de manera que al aplicarle el par de apriete sufre un estiramiento elástico lo que proporciona una tracción permanente que evita que el tornillo se afloje o se rompa debido a las cargas alternativas a que está sometido.



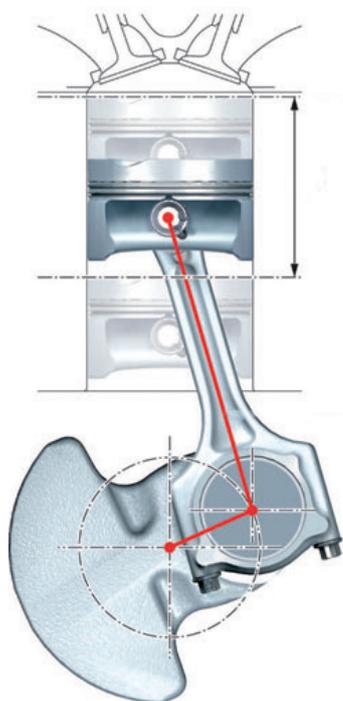
↑ Figura 12.38. Cabeza de biela partida. A. Por corte. B. Por craqueo.



↑ Figura 12.36. Constitución de la biela.



↑ Figura 12.37. Articulación de biela y pistón.



↑ **Figura 12.39.** Rotación del cigüeñal.

5. Cigüeñal

El cigüeñal recibe el impulso del pistón a través de la biela, de forma que crea un par de fuerzas que se transforma en un movimiento de rotación (figura 12.39).

El par generado en el cigüeñal es transmitido en su mayor parte al embrague, a través del volante motor, para ser utilizado como fuerza propulsora del vehículo, y una pequeña parte se emplea para el accionamiento de dispositivos auxiliares como la bomba de engrase, el sistema de distribución, la bomba de refrigeración, el generador, etc.

5.1. Solicitaciones

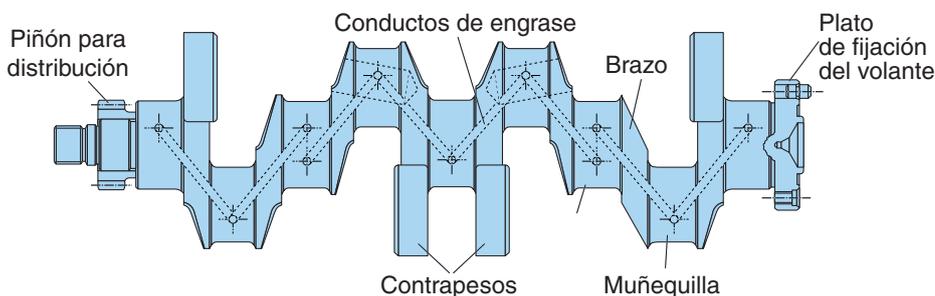
El cigüeñal gira apoyado en varios puntos y, por el tipo de trabajo que realiza, está sometido a diferentes esfuerzos. Los impulsos sucesivos que recibe en cada muñequilla tienen que vencer la resistencia al giro que ofrecen el volante de inercia y los pistones cuando suben en compresión, por lo que aparecen esfuerzos torsionales y de flexión. Sobre el cigüeñal actúan también las fuerzas de inercia producidas por el conjunto biela-pistón durante su movimiento alternativo. Además, está sometido a vibraciones y a desgaste por rozamiento. Por tanto, el cigüeñal debe ser robusto y a la vez elástico, resistente al desgaste y poseer un número de apoyos adecuado.

5.2. Constitución

El cigüeñal es un árbol acodado formado por los apoyos, las muñequillas, los brazos y los contrapesos (figura 12.40).

- **Apoyos del cigüeñal.** Son los muñones sobre los que gira el cigüeñal, van montados sobre los cojinetes de bancada en el bloque y su número depende de las cargas a las que esté sometido y del número de cilindros.

En los motores en línea, se puede considerar un cigüeñal bien apoyado cuando cada muñequilla está apoyada por ambos lados. Cuando no es así, por ejemplo, en motores de cuatro cilindros con tres apoyos, se debe reforzar convenientemente la estructura del cigüeñal.



↑ **Figura 12.40.** Constitución del cigüeñal.

- **Las muñequillas del cigüeñal** constituyen los muñones de unión con las cabezas de biela, a través de las cuales se recibe la fuerza que impulsa al cigüeñal y lo hace girar describiendo un círculo alrededor de su eje.
- **Los brazos** forman la unión entre los apoyos y las muñequillas.
- **Los contrapesos** cumplen la misión de equilibrar las masas del cigüeñal.

En uno de los extremos se dispone el plato para la fijación del volante de inercia, y en el lado contrario va montado, mediante chaveta, el piñón para el arrastre del árbol de levas y la polea que da movimiento a distintos accesorios.

El aceite de engrase para los cojinetes llega a presión hasta los apoyos y se transporta hasta las muñequillas por unas canalizaciones practicadas por el interior del cigüeñal.

En ambos extremos se colocan retenes de aceite que aseguran la estanqueidad (figura 12.41). Este retén consta de una estructura metálica que le da rigidez y sirve para fijarlo en su alojamiento. En su interior están dotados de un labio obturador que se aplica contra el eje por la presión de un muelle circular. Otro labio exterior protege de la entrada de polvo e impurezas.

5.3. Fabricación

En la fabricación del cigüeñal se utilizan dos diferentes procedimientos: mediante fundición o forjado

La fundición en molde es el método más empleado. Se utilizan aceros de fundición con aleación de carbono, silicio, cobre, manganeso y cromo.

El cigüeñal forjado se obtiene por estampación, de esta forma se consigue una estructura muy resistente y elástica. Se emplean aceros al cromo, níquel y molibdeno.

Las muñequillas y apoyos del cigüeñal son sometidos a un tratamiento de endurecimiento superficial, para ello se aplica el método de **nitruración** que consiste en añadir nitrógeno superficialmente. Otro procedimiento es la **cementación** consistente en enriquecer la capa externa con carbono. Así se consiguen profundidades de entre 0,5 y 2 mm con extraordinaria dureza y resistencia al desgaste.

5.4. Equilibrado

El cigüeñal es la pieza de mayor masa y longitud de las que giran en el motor y, por tanto, debe de estar equilibrado tanto estática como dinámicamente.

El **equilibrado estático** se logra cuando todas las masas están dispuestas alrededor del eje de rotación, de tal forma que se mantenga en reposo para cualquier posición que adopte cuando puede girar libremente. La falta de equilibrio estático provoca una tendencia a quedar en reposo siempre en una misma posición, ya que la fuerza de la gravedad atrae al punto de mayor masa.

El **equilibrado dinámico** se obtiene cuando, al hacer girar el cigüeñal, todas las masas en movimiento producen fuerzas centrífugas alrededor de su eje, que quedan compensadas entre sí. Es decir, la suma de las fuerzas respecto a cualquier punto del eje es cero.

El cigüeñal A de la figura 12.42 está equilibrado estáticamente pero no dinámicamente ya que al girar las fuerzas centrífugas creadas por las masas m_1 y m_2 provocan un par de giro que desequilibra el cigüeñal.

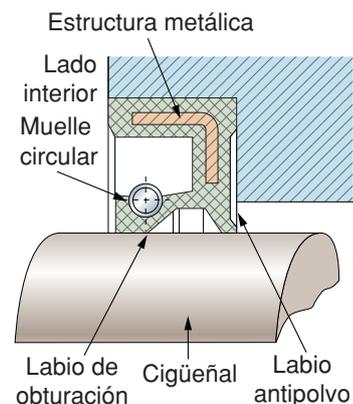
En el cigüeñal B de la figura 12.42 se han compensado las masas, siendo la suma de las fuerzas centrífugas igual a cero. $(F_1 + F_2) - (F'_1 + F'_2) = 0$

El cigüeñal se equilibra después de su mecanizado mediante máquinas especiales.

La operación se realiza eliminando material de los contrapesos hasta conseguir el equilibrio.

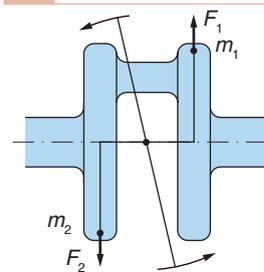
El volante de inercia también se equilibra por separado y a continuación conjuntamente con el cigüeñal.

La falta de equilibrio provoca fuertes cargas sobre los cojinetes de apoyo y vibraciones que se transmiten a la carrocería.

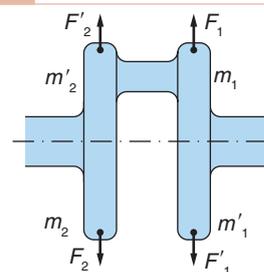


↑ **Figura 12.41.** Retén de aceite del cigüeñal.

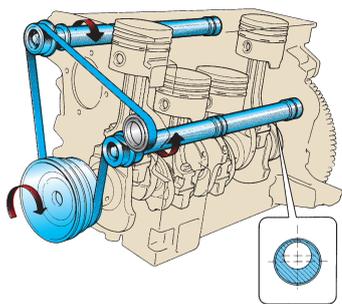
A Equilibrio estático y desequilibrio dinámico



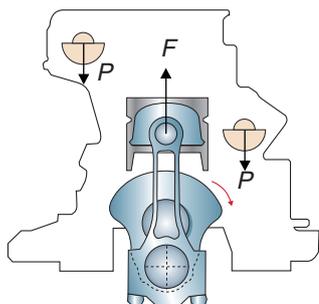
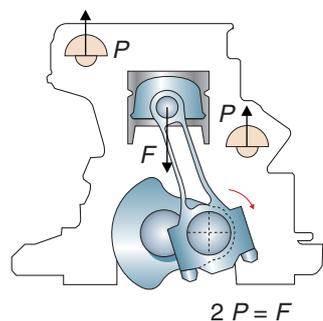
B Equilibrio estático y dinámico



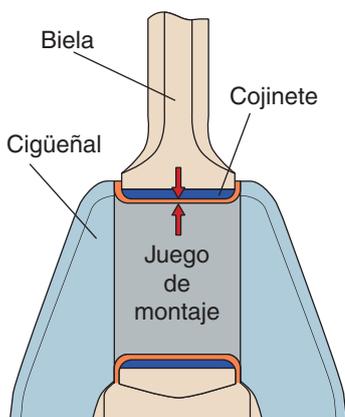
↑ **Figura 12.42.** Equilibrado del cigüeñal.



↑ **Figura 12.43.** Árboles de equilibrio contrarrotantes.



↑ **Figura 12.44.** Equilibrio de las fuerzas que producen las vibraciones.



↑ **Figura 12.45.** Juego de montaje entre biela y cigüeñal.

Árboles de equilibrado

Generalmente se equilibran las fuerzas del tren alternativo mediante una conveniente disposición de las muñequillas y el correcto dimensionado de los contrapesos del cigüeñal.

En determinados motores aparecen ciertas vibraciones que persisten a pesar del buen equilibrado del cigüeñal. Para compensar estas fuerzas, en algunos motores se recurre a la instalación de árboles de equilibrado contrarrotantes (figura 12.43).

Estos árboles se sitúan en ambos lados del bloque, giran en sentido contrario entre sí y a doble velocidad que el cigüeñal.

Su especial forma produce unas fuerzas de igual magnitud, pero de sentido contrario a las que originan el desequilibrio, de modo que anulan las vibraciones (figura 12.44).

Los árboles reciben movimiento del cigüeñal a través de la correa dentada o cadena.

5.5. Cojinetes de biela y de bancada

El cigüeñal gira apoyado sobre cojinetes de fricción con un bajo coeficiente de rozamiento. Estos cojinetes necesitan para su correcto funcionamiento un suministro constante de aceite a presión para evitar el contacto entre los metales y disminuir así la fricción.

Los cojinetes de bancada, sobre los que gira el cigüeñal, y los cojinetes de biela, sobre los que gira la muñequilla, están sometidos a duras condiciones de trabajo. Para garantizar su correcto funcionamiento deben poseer las siguientes características:

- Resistencia al gripaje.
- Fácil incrustación de partículas sólidas.
- Facilidad de adaptación a la forma del muñón.
- Buena conductividad térmica.

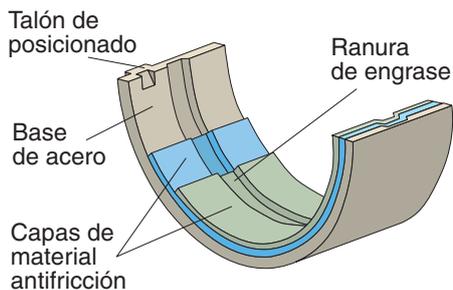
Entre el cojinete y el muñón debe mantenerse siempre una **holgura** o **juego de montaje** destinada a absorber la dilatación y mantener una circulación constante de aceite (figura 12.45). Esta holgura se determina en función del material del cojinete, del diámetro de este, de su dilatación térmica y de la velocidad de giro del cigüeñal.

Constitución de los cojinetes

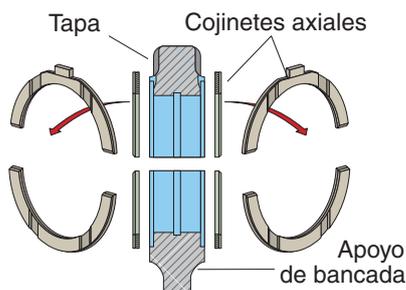
Por lo general se dividen en dos mitades, denominándose cada parte semicojinete o semicasquillo.

Cada semicojinete está formado por una base de acero semicircular sobre la cual se deposita el material antifricción. En una de las mitades se practica un orificio para la llegada del aceite y una ranura anular para su distribución. Además, cada cojinete dispone de un talón para posicionarlo correctamente y para inmovilizarlo una vez montado (figura 12.46).

El cigüeñal va provisto también de cojinetes axiales que soportan los esfuerzos producidos por el accionamiento del embrague. Se disponen axialmente en ambos lados de uno de los soportes de bancada (figura 12.47).



↑ Figura 12.46. Cojinete de fricción de dos capas.



↑ Figura 12.47. Situación de los cojinetes axiales.

Materiales para los cojinetes

El material antifricción puede estar compuesto por la aleación de diversos metales, entre los que se pueden destacar los siguientes:

- **Metal blanco.** Aleación a base de estaño y plomo que posee buenas cualidades como metal antifricción, pero tiene baja resistencia mecánica, por lo que solo puede emplearse en finas capas.
- **Cobre-plomo.** Este material tiene una estructura resistente, aportada por el cobre y las cualidades antifricción del plomo, pero es poco deformable y por su dureza no permite la incrustación de partículas.
- **Aluminio-estaño.** Esta aleación es muy utilizada actualmente, en este caso la resistencia la aporta el aluminio y la antifricción el estaño; las cualidades son muy similares a la aleación anterior.

Los cojinetes suelen configurarse en varias capas: por ejemplo, una primera capa de cobre-plomo sobre el soporte de acero, y encima una fina capa de metal blanco con un espesor entre 0,01 y 0,03 mm. El metal blanco también se deposita en algunos casos sobre el aluminio-estaño.

5.6. Volante de inercia

Las fuerzas que hacen girar el cigüeñal no se aplican sobre este de forma continua, sino que cada muñequilla recibe un impulso en la carrera de expansión que tiende a acelerarlo. Sin embargo, en cada carrera de compresión el cigüeñal tiende a frenarse, dando lugar a un giro irregular.

Para regularizar el giro se monta en el extremo del cigüeñal el volante de inercia (figura 12.48). Este dispositivo consiste en un disco con una elevada masa, que es capaz de almacenar la energía cinética de los impulsos y devolverla a continuación para realizar los tiempos que no aportan energía.

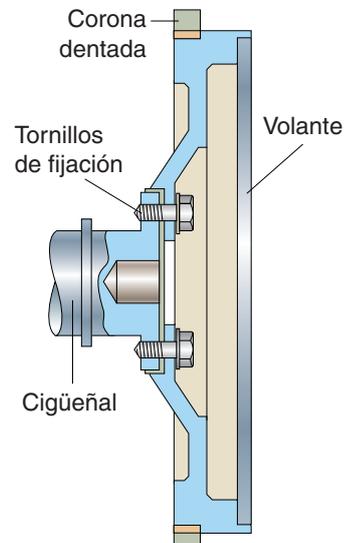
El volante suaviza la marcha del motor, pero también trae consigo algunos inconvenientes, ya que su elevado peso somete al cigüeñal a esfuerzos de torsión, principalmente cuando recibe el impulso del cilindro más alejado de él. También se opone a los rápidos cambios de régimen, por lo que un volante muy pesado impedirá conseguir buenas aceleraciones. Por lo tanto, es necesario un cálculo preciso de su masa en función de las características del motor.

Para motores Diesel se utilizan volantes bimasa que filtran las vibraciones torsionales que producen las elevadas fuerzas de sus explosiones.

Fabricación

El volante se fabrica en fundición de hierro. En su periferia, se monta a presión la corona dentada, que servirá para engranar el piñón del motor de arranque y, en muchos casos, una rueda fónica para el captador de régimen del sistema de inyección y encendido.

El volante de inercia se equilibra individualmente y, después, junto con el cigüeñal y el embrague.



↑ Figura 12.48. Volante de inercia.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. Dibuja esquemáticamente el tren alternativo y representa las fuerzas que actúan sobre el pistón en el descenso y en el ascenso.
- 2. Explica, con la ayuda del dibujo anterior, cuáles son las causas del desgaste irregular del cilindro.
- 3. ¿A qué velocidad media se desplaza normalmente un pistón?
- 4. ¿Cómo se calcula la velocidad del pistón?
- 5. ¿Qué relación guardan el diámetro y la carrera del cilindro?
- 6. Explica las diferencias entre las camisas secas y las camisas húmedas.
- 7. ¿Qué misión tiene la falda o el vástago del pistón?
- 8. ¿Qué temperaturas se alcanzan en las diferentes partes del pistón?
- 9. ¿Por qué motivo los pistones nuevos reciben un tratamiento superficial para mejorar su deslizamiento?
- 10. Explica cómo se consigue controlar la dilatación en un pistón autotérmico con tiras de acero.
- 11. ¿Qué misiones cumplen los segmentos?
- 12. Explica el trabajo que realiza un segmento rascador.
- 13. ¿De qué dos formas se unen el pistón y la biela?
- 14. ¿Cuándo se considera que un cigüeñal está equilibrado estáticamente?
- 15. Describe las partes de un cigüeñal.
- 16. ¿Qué tratamientos de endurecimiento reciben las muñequillas y los apoyos del cigüeñal?
- 17. ¿Por qué es necesario el juego de montaje entre el cojinete y la muñequilla?
- 18. ¿De qué componentes consta el metal blanco?
- 19. Describe cómo está compuesto un cojinete de fricción de dos capas.
- 20. ¿Cuál es la función del volante de inercia?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Qué tipo de desgaste produce el apoyo lateral del pistón sobre el cilindro?

- a) Ovalamiento.
- b) Conicidad.
- c) Holgura axial.
- d) Descentraje.

2 Un pistón tiene una carrera de 60 mm, ¿cuál es su velocidad media a 5.000 rpm?

- a) 18 m/s.
- b) 15 m/s.
- c) 12 m/s.
- d) 10 m/s.

3 ¿En qué tipo de bloque se practican los cilindros sobre el propio material del bloque?

- a) En el bloque con camisas secas.
- b) En el bloque con camisas húmedas.
- c) En el bloque integral.
- d) En el bloque con bancada.

4 ¿Qué aleación se emplea, generalmente, en la fabricación de pistones?

- a) Aluminio y magnesio.
- b) Aluminio y silicio.
- c) Hierro y aluminio.
- d) Hierro y silicio.

5 ¿Qué funciones desarrollan los segmentos del pistón?

- a) Aseguran la estanqueidad entre el pistón y el cilindro.
- b) Evacuan el calor del pistón.
- c) Recogen el aceite del cilindro.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

6 ¿Cómo se denomina el sistema de unión entre biela y pistón que incorpora un casquillo en el pie de biela y anillos elásticos de seguridad?

- a) Bulón flotante.
- b) Bulón fijo a la biela.
- c) Bulón semiflotante.
- d) Bulón articulado.

7 ¿Qué tratamientos superficiales de endurecimiento pueden recibir las muñequillas y apoyos del cigüeñal?

- a) Templado o revenido.
- b) Acerado o niquelado.
- c) Pulido o lapeado.
- d) Nitruración o cementación.

8 En la fabricación de cojinetes de fricción se emplean:

- a) Metales muy duros con bajo coeficiente de dilatación.
- b) Metales blandos con bajo coeficiente de fricción.
- c) Metales muy resistentes al desgaste por fricción.
- d) Materiales plásticos y sintéticos.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Llave dinamométrica
- Extractor de segmentos
- Micrómetro

MATERIAL

- Motor sobre soporte
- Documentación técnica

Dimensiones de un pistón

OBJETIVO

Comprobar que un pistón en frío presenta una forma ligeramente ovalada y cónica para controlar su dilatación térmica.

DESARROLLO

1. Se desmonta la culata y su junta. Se vacía el aceite y se desmonta el cárter inferior.
2. Se procede a desmontar el conjunto biela- pistón número 1, para ello se extrae la tapa de biela y se empuja el conjunto con el mango de un martillo hasta poder extraerlo con la mano.
3. Se sujeta por la biela en un tornillo de banco provisto de mordazas blandas, con cuidado de no dañarla.
4. Se desmontan los segmentos en orden empezando por el superior. Se utiliza un extractor de segmentos, se expanden solo lo suficiente para sacarlos de su caja.
5. Se mide con un micrómetro el diámetro del pistón a la altura del bulón y en sentido perpendicular a este: 84,22 mm.
6. Se mide el diámetro de la cabeza en sentido longitudinal y perpendicular al bulón.

Longitudinal: 83,85 mm

Perpendicular: 84 mm

Se puede comprobar que en frío el pistón es ligeramente ovalado y adquiere forma circular cuando llega a su temperatura de funcionamiento.

7. Se mide también la zona inferior de la falda: 84,25 mm.

Se comprueba que tiene un diámetro superior al de la cabeza. La falda roza con el cilindro y sirve de guía al pistón, en su parte superior el contacto se hace a través de los segmentos.

8. Se montan todos los elementos en orden inverso al desmontaje. Se debe mantener la posición correcta de montaje y respetar los pares de apriete.



↑ **Figura 12.49.** Desmontaje de segmentos.



↑ **Figura 12.50.** Diámetro inferior.



↑ **Figura 12.51.** Diámetro de la cabeza.

Calcular la velocidad media de los pistones

OBJETIVO

Obtener la relación entre la carrera y el diámetro en el motor y calcular la velocidad media del pistón.

DESARROLLO

1. Desmontar la culata del motor siguiendo las indicaciones de la documentación técnica.
2. Colocar un pistón en el PMI. Medir con la sonda de un calibre desde el plano del bloque hasta la cabeza del pistón (78,8 mm).

Colocar ahora el pistón en el PMS y repetir la medida (1,2 mm)

Carrera = $74,6 - 1,2 = 73,4 \text{ mm} = 0,0734 \text{ m}$

Medir el diámetro (77,6 mm)

La relación carrera / diámetro (L/D) = $73,4 / 77,6 = 0,94$

3. Calcular la velocidad media el pistón a 6500 revoluciones

$$v_m = \frac{L \cdot n}{30} = \frac{0,0734 \cdot 6.500}{30} = 15,9 \text{ m/s}$$

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Calibre

MATERIAL

- Motor Otto



↑ Figura 12.52.



↑ Figura 12.53.

MUNDO TÉCNICO

Tipos de pistones

Todos los pistones originales KS van equipados con los correspondientes segmentos, bulones y seguros. Están listos para su montaje final, y con excepción de los pistones grandes, van esmeradamente empaquetados por

juegos de motor. Para cada tipo de motor se aplica la aleación más apropiada de la gama de aleaciones KS, y la construcción más conveniente. Los pistones se diferencian por las características siguientes:



Pistón fundido monometálico.



Pistón forjado monometálico.



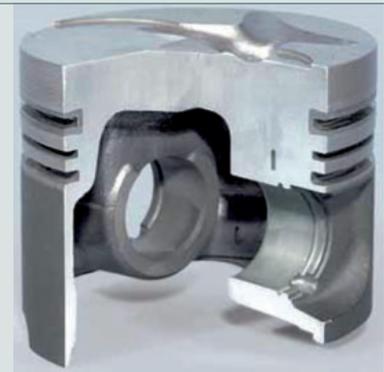
Pistón con aro oculto de dilatación controlada.



Pistón con chapas reguladoras.



Pistón con inserto y canal de refrigeración.



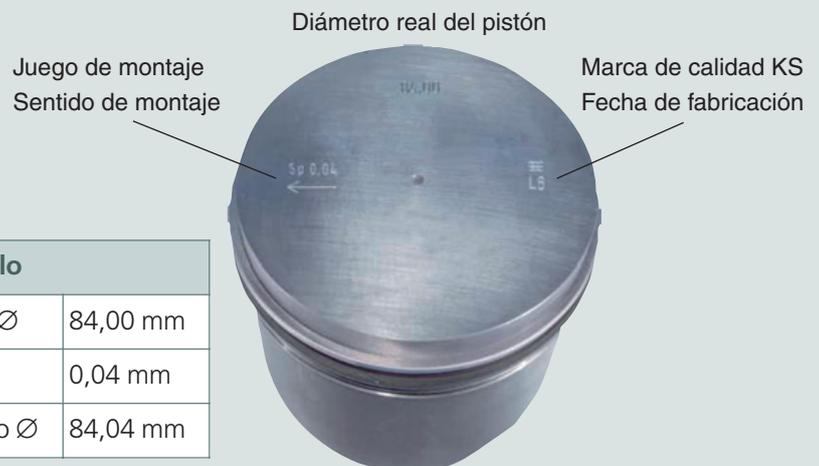
Pistón con chapas reguladoras e inserto.

En la cabeza del pistón se hallan las indicaciones sobre el espacio neutro máximo y el juego ideal del pistón. La suma de ambos da la medida nominal del agujero del cilindro.



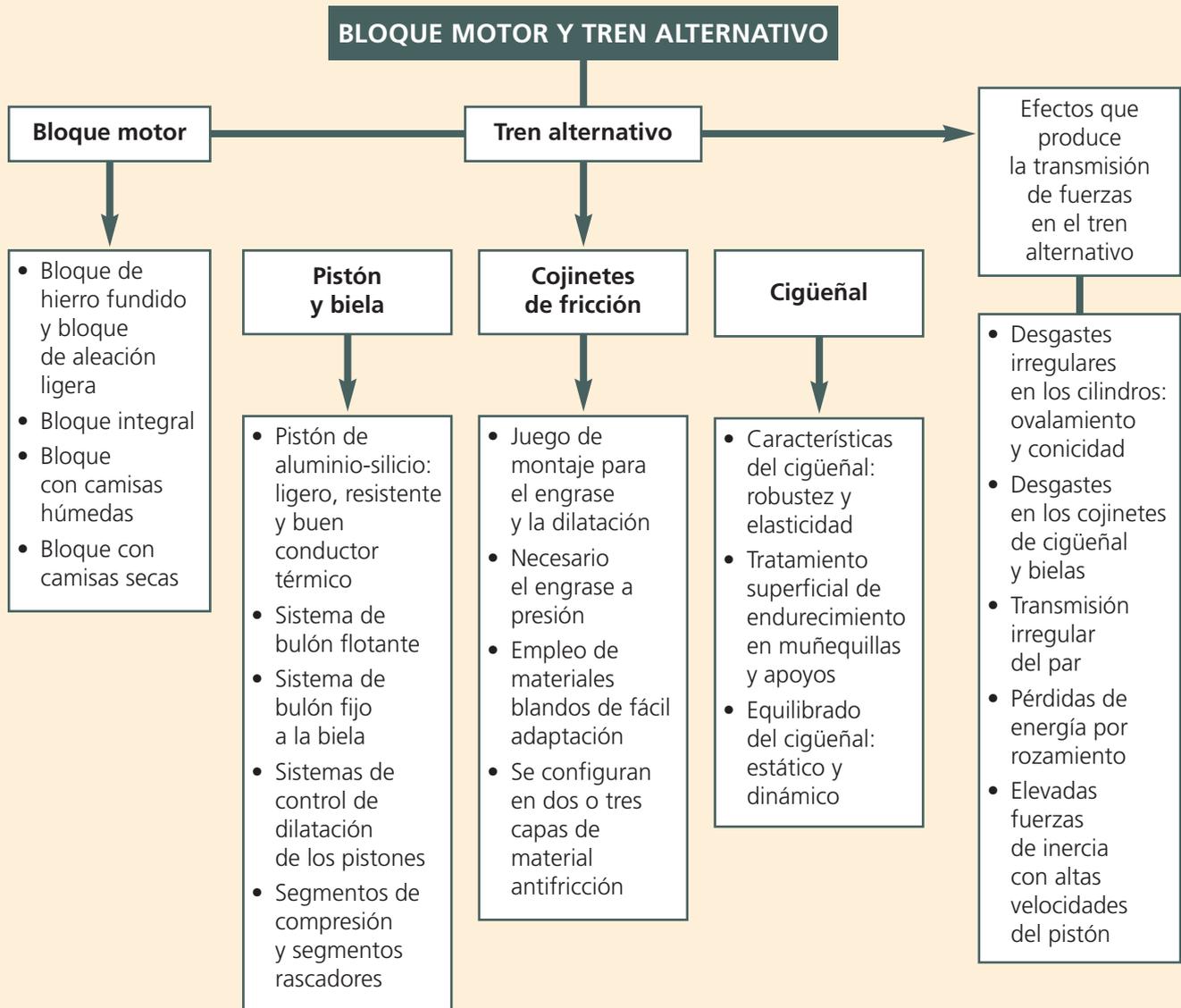
Ejemplo

Pistón Ø	84,00 mm
Sp	0,04 mm
Cilindro Ø	84,04 mm



Fuente: MSI Motor Service Internacional

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes encontrar más información sobre lo tratado en la unidad.

- http://www.ms-motor-service.es/ximages/PDF_Kataloge/ko_kolbenringe_es_web.pdf
- <http://www.reycomotor.com/Reyco/Dana/Sleeve1.htm>
- <http://www.itacr.com/BrunidoCilindro.html>
- <http://www.vochoweb.com/vochow/tips/mod/parte/cigue/piston/piston.htm>
- <http://www.vochoweb.com/vochow/tips/mod/parte/cigue/piston/piston.htm>
- http://www.marca.com/marca_motor/tecnica/motorv10/motorv10.html
- <http://www.youtube.com/watch?v=7DhoAzMaOws>

13

Comprobación de pistón, biela, cigüeñal y bloque

vamos a conocer...

1. Análisis de averías
2. Desmontaje de pistones, bielas y cigüeñal
3. Comprobación de pistones, bielas, cigüeñal y bloque
4. Montaje del motor

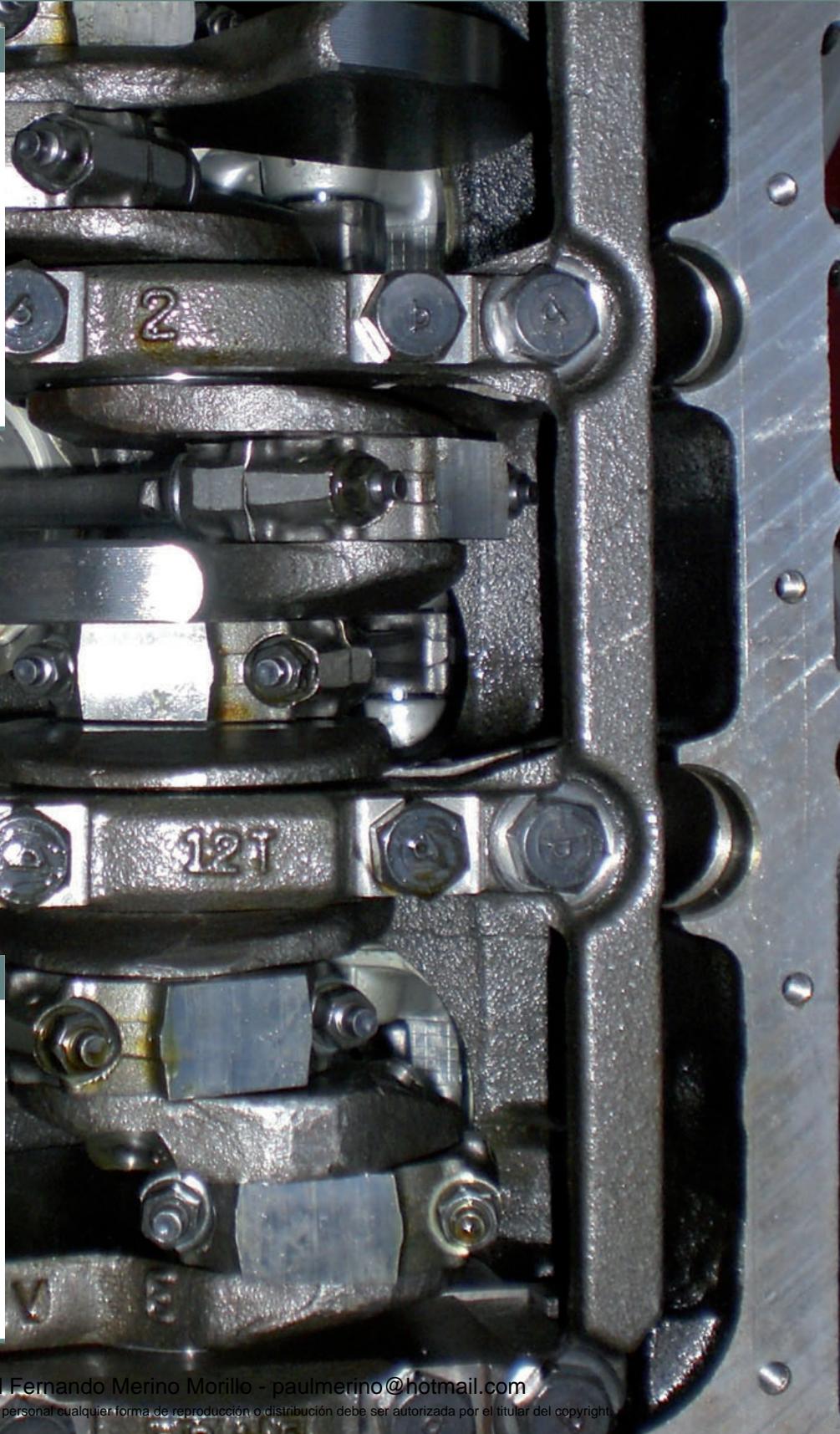
PRÁCTICA PROFESIONAL

Sustitución de los cojinetes de bancada

Medición de los cilindros

MUNDO TÉCNICO

El reacondicionamiento de un bloque de motor Alusil



y al finalizar esta unidad...

- Realizarás la comprobación y medición de los elementos que componen el tren alternativo y el bloque motor.
- Analizarás los valores obtenidos en las comprobaciones para determinar los elementos que se deben reparar o sustituir.
- Realizarás el montaje del motor siguiendo los procedimientos y normas indicadas en la documentación técnica.
- Aplicarás las normas de seguridad que sean necesarias en cada operación.

situación de partida

Pedro, adquiere un vehículo clásico de los años cuarenta, concretamente un Citroën 11 ligero, y después de usarlo durante un breve periodo de tiempo, observa diferentes anomalías que, dada su inexperiencia en mecánica, desconoce si son o no normales en este tipo de vehículos.

Lleva el vehículo al taller de confianza y le explica al mecánico las anomalías detectadas: observa un consumo de aceite excesivo en ocasiones, cuando desciende una pendiente detecta una humareda de color blanco azulado en la parte trasera del vehículo. También percibe que cuando sube pendientes el vehículo no lo hace con soltura, incluso tiene que reducir de velocidad en la caja de cambios para poder continuar la marcha a velocidad normal. Como consecuencia de lo anterior, a Pedro se le plantea la duda

si se podrá o no solucionar los problemas de su vehículo.

El mecánico experto en clásicos no lo duda ni un momento y, tras realizar alguna comprobación, detecta que el vehículo carece de la compresión adecuada. A la vista de la cantidad de gases que emite por el respiradero motor y el escape procede al diagnóstico del motor con las herramientas adecuadas, y, llega a la conclusión de que el motor está muy bajo de compresión y, debido a ello, el consumo de aceite es excesivo y tiene poca fuerza a la hora de superar las pendientes. A continuación se procede al desmontaje y verificación del motor (principalmente los cilindros y segmentos) y, una vez desmontado, le aconseja la sustitución de los elementos defectuosos. Finalmente el motor es montado quedando este en perfecto funcionamiento.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuál crees que puede ser el motivo principal de la avería que presenta este vehículo?
2. ¿Cómo se detectan las fugas de compresión?
3. ¿Cómo se comprueba el ovalamiento y la conicidad de los cilindros?
4. ¿Cómo se obtiene el juego de montaje entre el cigüeñal y sus cojinetes?
5. ¿Cómo se determina la medida de rectificado de un cilindro?
6. ¿Qué comprobaciones son necesarias al montar camisas húmedas?

1. Análisis de averías

Las averías que afectan a los elementos del tren alternativo y a los cilindros tienen importantes consecuencias en el funcionamiento del motor:

caso práctico inicial

La falta de potencia en el motor del caso inicial era debida al desgaste excesivo que tenían los cilindros.

- **Cilindros.** La parte superior del cilindro sufre un mayor desgaste debido a que las fuerzas que actúan sobre el pistón son de mayor intensidad en las proximidades del PMS. A esto hay que añadir que en esta zona hay poco engrase y las temperaturas son muy altas.

El desgaste produce ovalamiento y conicidad en el cilindro y, como consecuencia, hay fugas de compresión que disminuyen el rendimiento del motor y aumentan el consumo de aceite y de combustible.

Causas que aceleran el desgaste de los cilindros:

- El arranque en frío, ya que se usan mezclas muy ricas y el exceso de combustible sin gasificar diluye el aceite eliminando la lubricación de esta zona.
- No efectuar los cambios de aceite y filtro en los periodos recomendados.
- No usar aceite de calidad o viscosidad apropiada.
- Hacer funcionar el motor en ambientes con mucho polvo atmosférico.
- Usar el motor a un elevado número de revoluciones, ya que la alta velocidad del pistón aumenta el desgaste.

A. Pistón gripado por falta de engrase



B. Pistón fundido por autoencendido



- **Pistones.** Los daños en los pistones están originados generalmente por la falta de engrase, o por exceso de calor debido a fallos en la refrigeración. También por funcionamiento defectuoso del sistema de encendido o de los equipos de inyección de combustible (figura 13.1).

Cuando se presentan daños en la cabeza del pistón y la zona de segmentos, generalmente se debe al mal ajuste del avance del encendido o por producirse detonación o autoencendido.

- **Segmentos.** Los segmentos gastados, mal adaptados al cilindro o con falta de elasticidad, son causa de pérdida de compresión y consumo excesivo de aceite.

Una elevada temperatura en el segmento de fuego quema el aceite y deja depositados en su alojamiento los residuos. La acumulación de carbonilla puede llegar a bloquearlo, incluso impidiendo su función.

La excesiva holgura de los segmentos en sus alojamientos provoca el paso de aceite hacia la cámara de combustión.

- **Cojinetes.** La causa más frecuente de avería en los cojinetes de fricción es la falta de engrase. La lubricación insuficiente por obstrucción de los conductos, o por juego de montaje demasiado pequeño, produce un exceso de rozamiento. Este rozamiento eleva la temperatura hasta fundir el material del cojinete que, o bien se queda soldado a la muñequilla, o bien se pierde el material fundido; y se produce entonces el característico ruido de biela fundida.

Es muy importante comprobar que el juego de montaje entre el muñón y el cojinete es el correcto, pues esto asegura una cantidad de aceite suficiente para formar una película entre ambas piezas que evita el desgaste. Si este juego es excesivo, aumenta el nivel de ruido y disminuye la presión de aceite.

↑ **Figura 13.1.** Daños en los pistones.

Las rayas en las muñequillas, en la mayoría de los casos, se deben a la introducción de partículas que transporta el aceite de engrase debido a un filtrado deficiente.

- **Biela.** Una biela deformada posiciona el pistón de manera incorrecta en el cilindro lo que provoca pérdidas de compresión y desgastes irregulares en el cilindro y en la muñequilla del cigüeñal.
- **Cigüeñal.** Las zonas de mayor desgaste por rozamiento son las muñequillas y los apoyos. El cigüeñal posee cierta elasticidad que es necesaria para absorber las flexiones y torsiones que sufre en su funcionamiento, pero puede llegar a deformarse de manera permanente y provocar excentricidad en su eje.

1.1. Medición de la presión de compresión

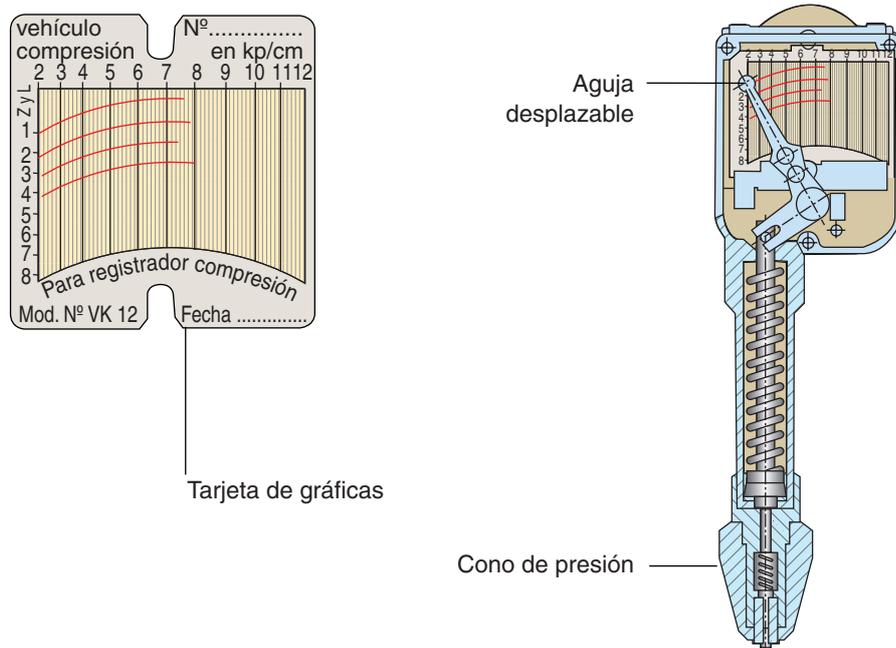
Esta prueba se realiza antes de desmontar el motor con el fin de detectar fugas en la cámara de combustión debidas al desgaste de segmentos, cilindros y válvulas.

Ya conocemos la importancia que tiene la presión de compresión para obtener un buen rendimiento en el motor. Cuando se producen fugas en la cámara de compresión se aprecia una falta de potencia y un aumento en el consumo de combustible y de aceite.

Para la comprobación se utiliza un compresógrafo, este instrumento detecta la presión mediante una aguja que al desplazarse dibuja una gráfica sobre una tarjeta de papel milimetrado. Se obtienen tantas gráficas como cilindros tiene el motor, de forma que se pueden comparar los resultados (figura 13.2).

caso práctico inicial

Cuando se comprobó la compresión con el compresímetro, el resultado de la medición fue muy bajo en todos los cilindros, dato este que confirma el diagnóstico del mecánico antes de desmontar el motor: falta de potencia y consumo de aceite.



↑ **Figura 13.2.** Compresógrafo.

La compresión debe medirse solamente cuando el motor esté a su temperatura normal de funcionamiento. Arrancar el motor y mantenerlo funcionando hasta que se conecte, al menos una vez, el electroventilador. Parar el motor y, sin dejar que se enfríe, proceder como sigue:



↑ **Figura 13.3.** Aplicación del compresógrafo.

- Extraer las bujías (los calentadores o los inyectores si se trata de un Diesel). Desconectar eléctricamente el circuito de encendido y los inyectores de gasolina con el fin de que no llegue combustible sin quemar hasta el catalizador.
- Accionar unos segundos el arranque para ventilar los posibles residuos de la combustión.
- Aplicar el cono del compresógrafo en el taladro de la bujía haciendo presión (figura 13.3) (en los Diesel se utiliza una conexión roscada debido a su alta compresión).
- Abrir a tope la mariposa de gases y accionar el motor de arranque hasta que el cigüeñal gire de 6 a 8 vueltas. Comprobar cómo avanza la aguja del aparato hasta alcanzar un máximo.
- Repetir la operación en los demás cilindros manteniendo aproximadamente la duración de giro del motor (para cada cilindro hacer avanzar la tarjeta del compresógrafo).

1.2. Evaluación de los resultados

Los resultados obtenidos deben compararse con los datos del fabricante. Las presiones de compresión para motores Otto están comprendidas entre 8 y 13 bar, y para Diesel de 14 a 25 bar, dependiendo de la relación de compresión del motor.

Tan importante como la obtención de valores altos es la uniformidad en todos los cilindros, que indica que las fuerzas de la combustión que actúan sobre el cigüeñal están compensadas. Como máximo se admite una diferencia de presión de 2 bar.

Si las presiones obtenidas son bajas pero uniformes, generalmente es debido al normal desgaste de motores con elevado número de kilómetros. En este caso se considerará la posibilidad de rectificar los cilindros.

Cuando existen diferencias superiores a 2 bar en uno o más cilindros, es necesario buscar la causa que origina la fuga de presión.

Las pérdidas de compresión en la cámara de combustión pueden producirse entre los segmentos y el cilindro, a través de los asientos de válvulas o por la junta de culata.

Una manera de determinar el lugar de la fuga consiste en introducir en la cámara, por el orificio de la bujía, una pequeña cantidad de aceite de motor y seguidamente volver a repetir la prueba de compresión.

El aceite sella la unión de los segmentos y el cilindro, por lo que si la presión ha aumentado en esta segunda prueba, este será el lugar de la fuga. Si la presión permanece sensiblemente igual, posiblemente la presión se escapa a través de las válvulas.

Si la baja presión se da en dos cilindros contiguos pueden existir fugas a través de la junta de culata, entre ambos cilindros. En este caso podrían observarse burbujas en el líquido de refrigeración cuando el motor está funcionando.

La falta de hermeticidad en la junta de culata se comprueba colocando sucesivamente cada pistón en el PMS con las válvulas cerradas, se suministra aire a presión (unos 5 bar) por el orificio de la bujía y se observa si aparecen burbujas en el depósito de expansión.

Una vez localizada la procedencia del escape de presión se procederá al desmontaje del motor para su reparación.

2. Desmontaje de pistones, bielas y cigüeñal

El desmontaje de estos elementos, en muchos casos es posible sin extraer el bloque motor del chasis. Para ello se sitúa el vehículo en un elevador y se desmonta la culata y el cárter, así se tendrá acceso a los pistones por la parte superior y al cigüeñal por la inferior.

Si lo que se pretende es realizar una revisión completa de todos los elementos, incluido el bloque de cilindros, es necesario extraer el motor. Por lo tanto, habrá que proceder como se indica en el punto 2 de la unidad didáctica 7 y, a continuación, desmontar la culata siguiendo las operaciones indicadas en el punto 3.

Una vez que se haya colocado en el soporte giratorio, se vaciará el aceite y se girará el motor media vuelta. Entonces, se podrá retirar el cárter y la bomba de engrase.

Antes de proceder al desmontaje es conveniente anotar la posición que ocupan los elementos respecto al bloque. Para ello se pueden utilizar referencias como: lado volante, lado distribución, lado del filtro de aceite, etc.

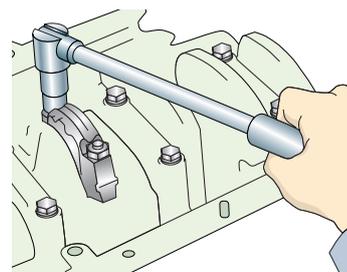
A medida que se desmonta, se marcan las piezas con un número que indique su lugar y, a su vez, se toma una referencia que señale la posición de montaje.

2.1. Extracción del conjunto biela-pistón

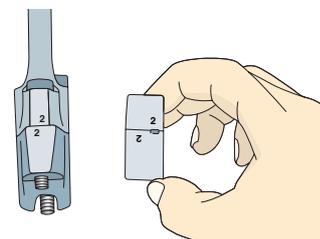
En primer lugar se anota la posición del conjunto biela-pistón respecto al bloque. A continuación se desmonta el sombrerete de biela del pistón número 1 (figura 13.4) y se empuja el conjunto para extraerlo por la parte superior del cilindro; si fuera preciso, se puede golpear con el mango de un mazo mientras se recoge el pistón con la otra mano.

Una vez fuera, se desmontan los semicojinetes, marcando su posición y se revisa su estado. Después se monta cada sombrerete en su biela emparejando los números que traen marcados lateralmente (figura 13.5); si no tuvieran marcas, se harán mediante un puntero (figura 13.6). Por último, se desmontan los demás conjuntos y se ordenan adecuadamente (figura 13.7).

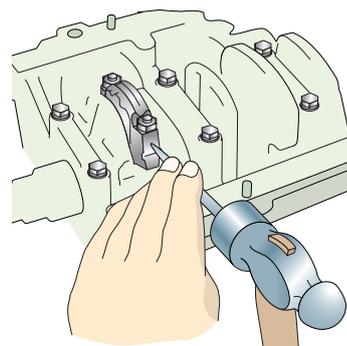
En caso de camisas húmedas desmontables, se debe extraer el conjunto biela-pistón junto con la camisa, marcar las camisas y anotar su posición en el bloque.



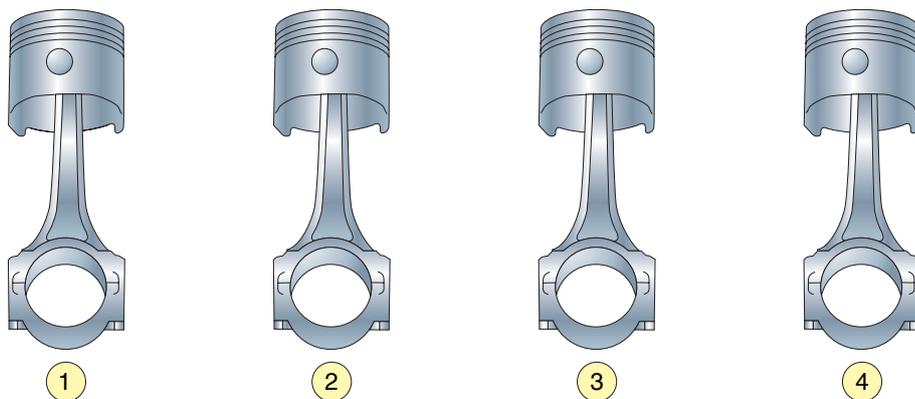
↑ **Figura 13.4.** Desmontaje del sombrerete de biela.



↑ **Figura 13.5.** Emparejamiento de las marcas en biela y cojinetes.



↑ **Figura 13.6.** Estampación de marcas sobre la biela y su tapa.



← **Figura 13.7.** Conjuntos biela-pistón ordenados.

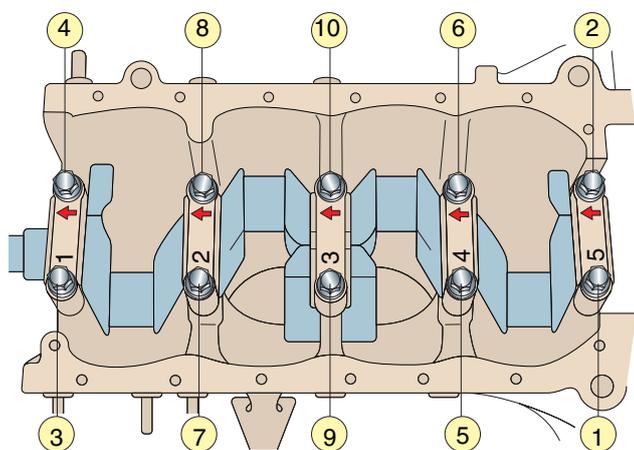
2.2. Extracción del cigüeñal

En primer lugar se desmonta el volante de inercia, tras haber marcado su posición respecto al cigüeñal, con el fin de conservar el equilibrado del conjunto. Algunos volantes solamente admiten una posición de montaje.

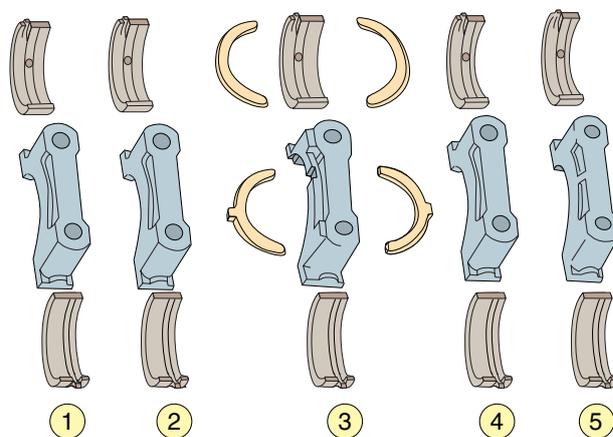
Después se extrae el retén de aceite en el extremo del cigüeñal junto con su soporte. Se anota la posición de los cojinetes de bancada y a continuación se aflojan progresivamente en el orden indicado para extraerlos uno a uno junto con su cojinete (figura 13.8).

Se extraen el cigüeñal y los cojinetes axiales. Se desmontan los semicojinetes de sus alojamientos y se marca su posición (figura 13.9).

Se deben limpiar todas las piezas desmontadas con un producto disolvente y secar con aire a presión. Se soplarán con aire a presión los conductos de engrase del bloque para comprobar que no están obstruidos.



↑ Figura 13.8. Orden para aflojar las tapas de bancada.

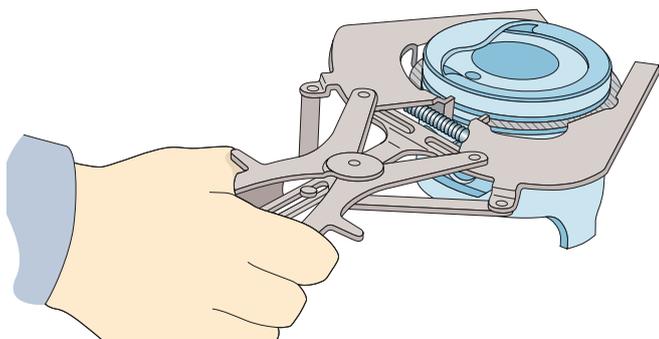


↑ Figura 13.9. Conjunto de semicojinetes y tapas de bancada.

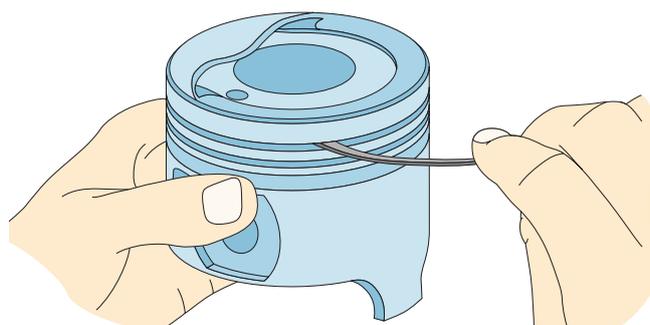
2.3. Desarmado del conjunto biela-pistón

Se extraen los segmentos con un útil extractor, abriéndolos solo lo necesario para evitar su rotura (figura 13.10). Se empieza por el más próximo a la cabeza y se termina por el de engrase. De todos ellos, se anota la posición de montaje.

A continuación, se limpian los posibles depósitos de carbonilla incrustada en los alojamientos con una herramienta adecuada, también se puede hacer con un trozo de segmento (figura 13.11).



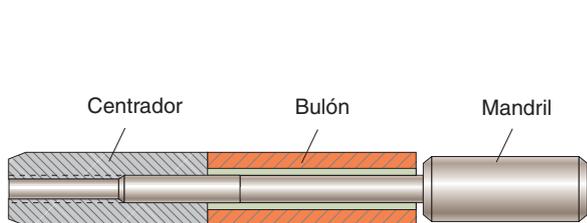
↑ Figura 13.10. Extracción de los segmentos.



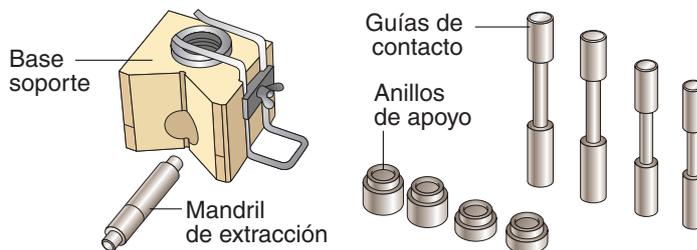
↑ Figura 13.11. Limpieza de carbonilla.

Se anota la posición de la biela respecto al pistón y se procede a su desmontaje dependiendo del tipo de acoplamiento:

- **Bulón flotante.** Se extraen los anillos elásticos de seguridad y se empuja el bulón; es posible que ofrezca una ligera resistencia, en tal caso, acoplar un mandril con el diámetro adecuado (figura 13.12) y golpear con un mazo, mientras se sujeta el pistón con la mano. Nunca se debe apoyar sobre una superficie dura para evitar que se marque.
- **Bulón con interferencia en la biela.** En este caso se debe disponer de los medios necesarios: una prensa y un mandril empujador para el desmontaje (figura 13.13) y un hornillo o placa calefactora para el montaje.



↑ Figura 13.12. Mandril para extracción del bulón.



↑ Figura 13.13. Útiles para desmontaje y montaje de pistón.

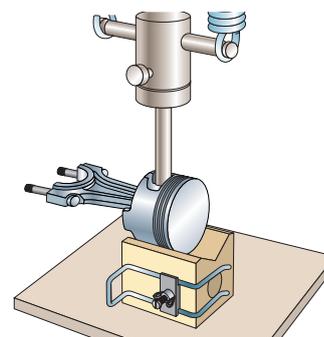
El **desmontaje** se efectúa con la prensa, apoyando el pistón sobre un soporte en V y aplicando presión sobre el empujador hasta extraer el bulón (figura 13.14).

En algunos motores es obligatorio el cambio de pistones cuando se desmontan, ya que al extraer los bulones con la prensa quedan inutilizados al deformarse. Una vez desmontados, se ordenan y marcan todos los elementos.

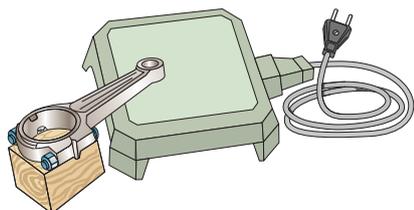
Para efectuar el **montaje** es necesario dilatar el alojamiento del bulón sobre la biela. Para ello, se procede a calentar el pie de biela sobre una placa calefactora (figura 13.15) hasta una temperatura aproximada de 230 °C. Para detectar esta temperatura se coloca sobre el pie de biela un trozo de estaño de soldar, cuando funde el estaño se habrá conseguido dicha temperatura (figura 13.16).

Otro método consiste en aplicar sobre la cabeza de biela pintura termocromática, cuando se alcanza la temperatura de montaje la pintura cambia de color, por ejemplo, de amarillo a negro. Es entonces cuando se sitúa la biela en el pistón y se introduce el bulón bien aceitado haciendo presión con la mano. Se debe actuar con rapidez para evitar que se enfríe la biela.

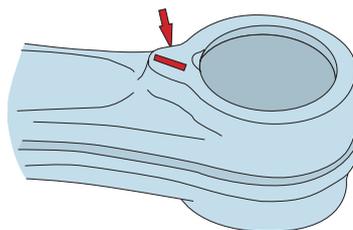
Para realizar esta operación se utilizará un mandril de centrado para el bulón (figura 13.12). Para ello se sitúa el pistón en un soporte provisto de un anillo de apoyo que haga de tope para el bulón, de forma que este quede centrado sobre su alojamiento (figura 13.13).



↑ Figura 13.14. Extracción del bulón con interferencia en la biela.



↑ Figura 13.15. Calentamiento del pie de biela para el montaje del bulón.

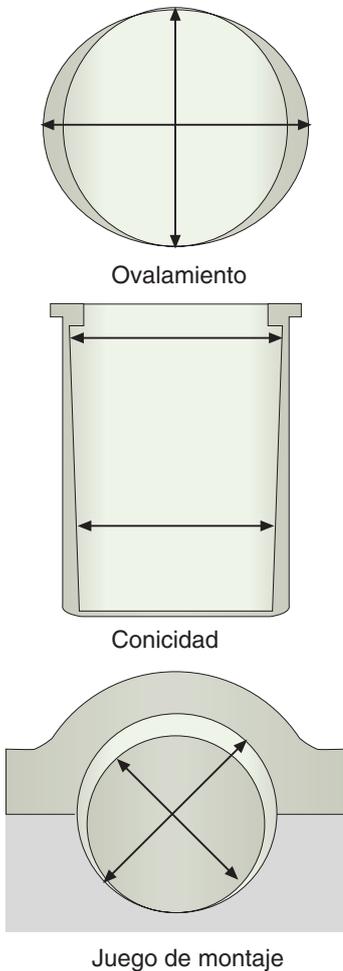


↑ Figura 13.16. El estaño actúa como testigo de temperatura.

3. Comprobación de pistones, bielas, cigüeñal y bloque

Dada la importancia del buen estado de estos elementos para el correcto funcionamiento del motor, las comprobaciones y mediciones deben realizarse con minuciosidad sobre las zonas sometidas a mayor desgaste por presión, rozamiento o alta temperatura, verificando que el juego de montaje entre las piezas en movimiento se mantiene dentro de la tolerancia indicada en los datos técnicos.

Es conveniente diferenciar los distintos tipos de mediciones que se realizan en estas piezas (figura 13.17), los más comunes son los siguientes:



↑ **Figura 13.17.** Distintos tipos de mediciones.

- **Ovalamiento.** Se produce cuando un elemento perfectamente circular sufre un desgaste irregular en su periferia, dando como resultado una forma oval. El ovalamiento se mide comparando dos diámetros sobre el mismo plano radial a 180° , o tres diámetros a 120° . Por ejemplo, el ovalamiento se da en los cilindros, en las muñequillas y en los apoyos del cigüeñal.
- **Conicidad.** Se produce cuando un elemento perfectamente cilíndrico sufre un desgaste irregular, dando como resultado una forma de tronco de cono. La conicidad se mide comparando dos diámetros situados en ambos extremos del cilindro, tomados en el mismo plano longitudinal. Por ejemplo, la conicidad se da en los cilindros y a veces en las muñequillas del cigüeñal.
- **Excentricidad.** Es la falta de alineación entre los puntos de apoyo sobre los que gira un árbol.
- **Juego de montaje.** Es la holgura o el espacio entre dos piezas (muñequilla y cojinete, cilindro y pistón) montadas una en el interior de la otra, normalmente una fija y la otra móvil. Su medida es la diferencia entre los diámetros de ambas piezas. También se denomina holgura radial.
- **Juego axial.** Es la holgura de una pieza en el sentido del eje o longitudinal.

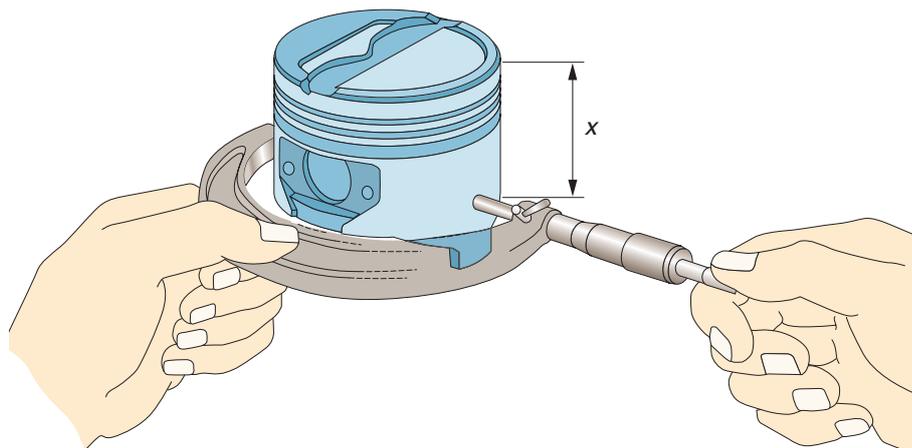
Los aparatos de medida necesarios son: un reloj comparador con base magnética, un alexómetro y un juego de micrómetros de diferentes medidas, todos ellos con una apreciación de al menos $0,01$ mm. También será necesarios una regla de planitud y un juego de galgas de espesores calibrados.

Es preciso asegurarse de la exactitud de las mediciones realizadas; si se tienen dudas, lo mejor es repetir las medidas hasta estar seguros del resultado. Finalmente, habrá que evaluar los daños y decidir el tipo de reparación. Ante una pieza dañada solo se procederá a su sustitución después de investigar y reparar la causa que produjo el fallo.

3.1. Comprobación de los pistones

Comprobar el estado de las zonas de deslizamiento en el pistón (perpendiculares al bulón), debe observarse que no se presentan señales de agarrotamiento o excesivo roce así como el perfecto estado de las ranuras de los segmentos:

- **Diámetro del pistón.** Debido a que los pistones no tienen forma exactamente cilíndrica, la medida del diámetro debe tomarse en la zona adecuada que viene indicada en los datos técnicos, generalmente a una distancia x de la cabeza (figura 13.18).



↑ **Figura 13.18.** Medición del diámetro del pistón.

Si no se especifica la zona de medición, el diámetro del pistón se mide en posición perpendicular al bulón a la misma altura de este. Los pistones se miden con un micrómetro a temperatura ambiente.

El **juego de montaje** entre el pistón y el cilindro es necesario para compensar la dilatación térmica y se sitúa entre 0,04 y 0,08 mm (figura 13.19).

$$\text{Juego de montaje} = \text{Diámetro del cilindro} - \text{Diámetro del pistón}$$

En caso de rectificado de los cilindros, se suministran pistones a sobremedida respecto a su diámetro original, generalmente 2 o 3 diferentes medidas, por ejemplo:

$$+ 0,25; \quad + 0,50; \quad + 0,75$$

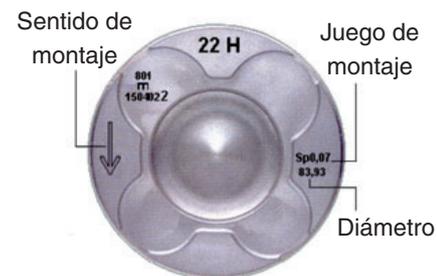
Las camisas desmontables no admiten rectificado, en caso de deterioro se sustituye el juego completo de camisas, pistones y segmentos.

Comprobación del bulón

- **Diámetro del bulón.** Se mide con un micrómetro. Debe comprobarse si está rayado o tiene señales de desgaste.
- **Diámetro del alojamiento en el pistón.** Se mide con un alexómetro en sentido longitudinal y transversal, para detectar posible ovalamiento.
- **Calcular el juego de montaje** entre bulón y alojamiento por diferencia de diámetros.

Comprobación de los segmentos

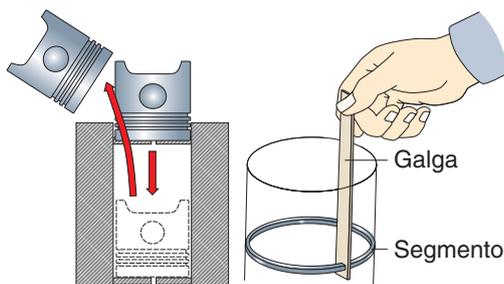
- **Se mide el espesor de cada segmento** con un micrómetro para comprobar su desgaste.
- **Verificar la abertura entre puntas.** Se introduce el segmento dentro del cilindro y se empuja con la cabeza del pistón para lograr una posición horizontal. La medida de la abertura se toma con una galga (figura 13.20).



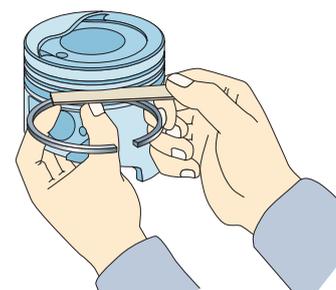
$$\text{Diámetro del orificio del cilindro} = 83,93 + 0,07 = 94 \text{ mm}$$

↑ **Figura 13.19.** Marcas en la cabeza del pistón.

VALORES MEDIOS DE LA APERTURA ENTRE PUNTAS EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL CILINDRO	
Ø Cilindro (mm)	Abertura (mm)
60-80	0,20 - 0,25
80-100	0,25 - 0,30
100-150	0,30 - 0,40



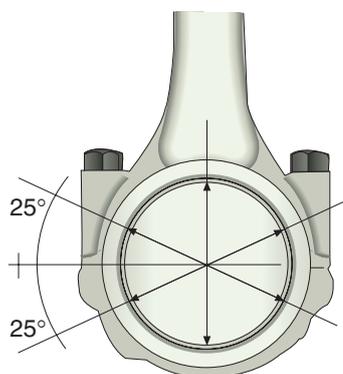
↑ Figura 13.20. Abertura entre puntas del segmento.



↑ Figura 13.21. Holgura axial del segmento.

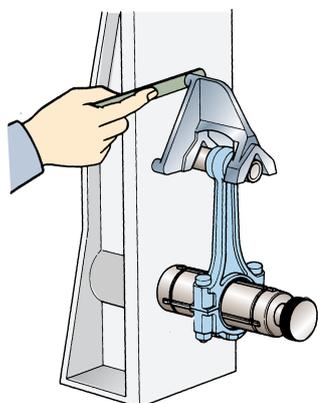
- **Comprobar la holgura axial del segmento** en su caja (figura 13.21), para ello, se montan dichos segmentos en sus alojamientos, o simplemente se introducen en sus ranuras y se mide el juego con una galga (máximo 0,10 mm).

3.2. Comprobación de las bielas

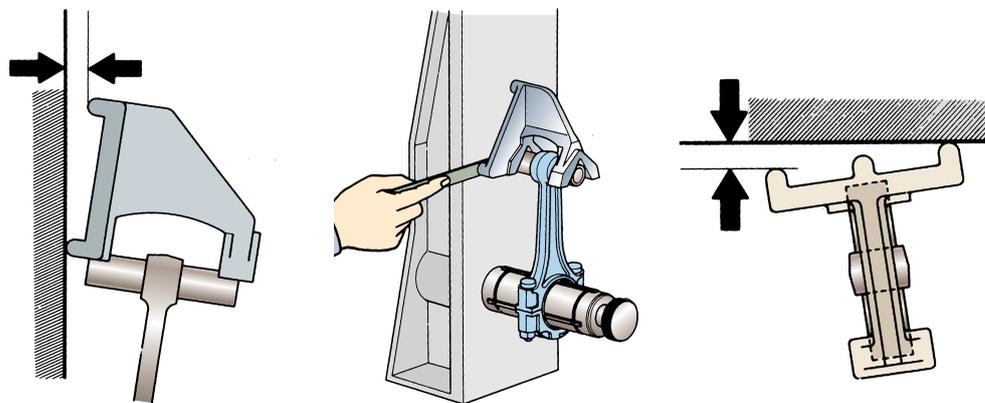


↑ Figura 13.22. Ovalamiento de la cabeza de biela.

- **Diferencia de peso entre bielas.** Con la ayuda de una balanza, se compara el peso de todas las bielas entre sí; la diferencia máxima no deberá de ser mayor de 6 g.
- **Alineación de los ejes de biela.** Se introduce el bulón en el pie de biela y se monta sobre el dispositivo comprobador, en este aparato es posible verificar la falta de paralelismo entre ejes (figura 13.23) y la posible torsión (figura 13.24).
- **Ovalamiento del cojinete de pie de biela** (solo con montaje flotante). Se mide con el alexómetro en sentido transversal y longitudinal y se calcula el ovalamiento.
- Calcular el **juego de montaje con el bulón** por diferencia de diámetros.
- Comprobar que el **casquillo** no se ha desplazado y que coinciden los orificios de engrase.
- **Ovalamiento de la cabeza de biela.** Se acoplan los semicojinetes en su posición, se monta el sombrerete y se aprieta a su par. Es necesario comprobar que los semicojinetes quedan firmemente sujetos. Con un alexómetro, se mide el diámetro en sentido longitudinal y transversal (figura 13.22). El ovalamiento es la diferencia entre estos dos diámetros (como máximo 0,03 mm). En caso de encontrar un excesivo desgaste se sustituirán los cojinetes.



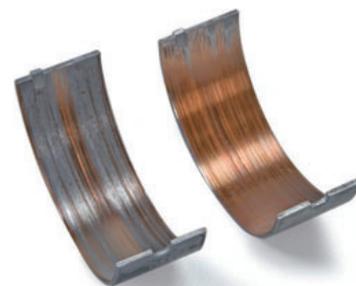
↑ Figura 13.23. Paralelismo entre ejes de biela.



↑ Figura 13.24. Torsión del cuerpo de la biela.

Comprobación de los semicojinetes

Se examinan visualmente los semicojinetes (figura 13.25), para verificar que conservan la capa de material antifricción y que no están rayados o tengan señales de gripado, de ser así se deben sustituir. La causa de la anomalía puede ser por falta de engrase, aceite sucio, juego de montaje incorrecto o por deformación del cojinete o del talón de fijación.



↑ Figura 13.25. Medios cojinetes rayados por partículas de suciedad en el aceite.

3.3. Comprobación del cigüeñal

- **Excentricidad del apoyo central.** Colocar el cigüeñal sobre sus dos apoyos extremos, en unos soportes en V (figura 13.27). Situar el palpador de un reloj comparador sobre el apoyo central y girar una vuelta completa, la desviación máxima de la aguja será la excentricidad, que no debe ser mayor de 0,04 mm. Comprobar visualmente el **estado de las muñequillas y los apoyos**, deben presentar un aspecto brillante, sin rayas o señales de desgaste excesivo. En tal caso, examinar también el cojinete correspondiente y su conducto de engrase.
- **Ovalamiento de muñequillas y apoyos.** Con un micrómetro tomar dos medidas de diámetros perpendiculares, una de ellas en sentido de mayor desgaste (figura 13.28). Comparar los diámetros, el ovalamiento no ha de ser mayor de 0,04 mm.
- **Conicidad de muñequillas y apoyos.** Con un micrómetro tomar medidas de los diámetros en los extremos (izquierda y derecha) de cada muñequilla y apoyo. La conicidad no debe ser mayor de 0,03 mm (figura 13.27).
- **Juego de montaje de las muñequillas.** Comparando el menor diámetro obtenido en la muñequilla con el mayor del cojinete de la cabeza de biela.
- **Juego de montaje de los apoyos.** Se consigue al comparar el menor diámetro del apoyo con el mayor del cojinete de bancada.

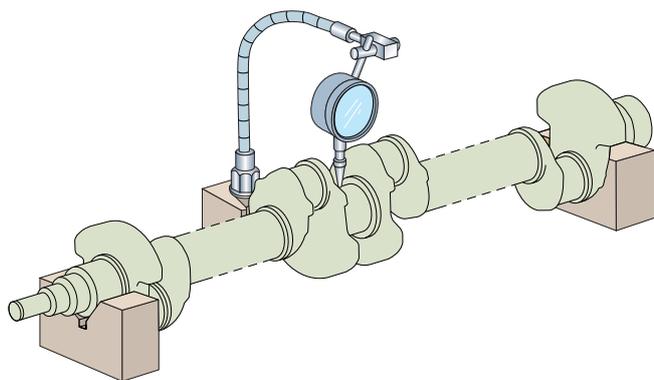
El juego de montaje entre muñequillas y apoyos con sus respectivos cojinetes está entre 0,02 y 0,06 mm, y no debe superar los 0,15 mm.

En caso de encontrar señales de gripado en algún cojinete, buscar las causas. Normalmente se debe a la falta de engrase, por ello, se deberán limpiar los conductos de lubricación y montar todo el juego de cojinetes nuevo.

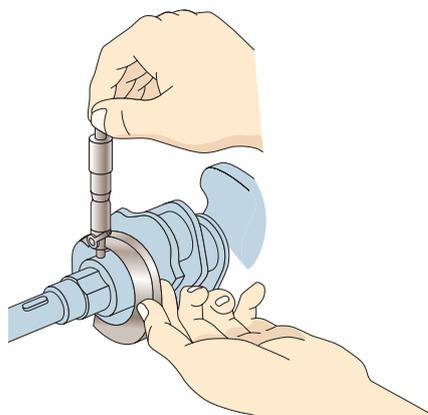
- **Espesor de los cojinetes axiales del cigüeñal.** Medir con un micrómetro y comprobar que se mantiene dentro de los límites establecidos en los datos técnicos.



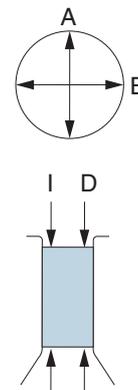
↑ Figura 13.26. Cojinetes de cigüeñal gripados.



↑ Figura 13.27. Excentricidad del cigüeñal.



↑ Figura 13.28. Ovalamiento y conicidad en muñequillas y apoyos.



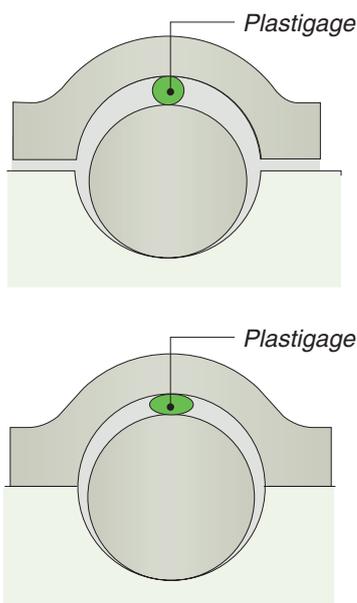


Figura 13.29. Utilización del hilo calibrado *plastigage*.

Comprobación del juego de montaje con hilo calibrado

Se trata de un método rápido para comprobar la holgura en los cojinetes que sean desmontables, como los de pie de biela y los de bancada.

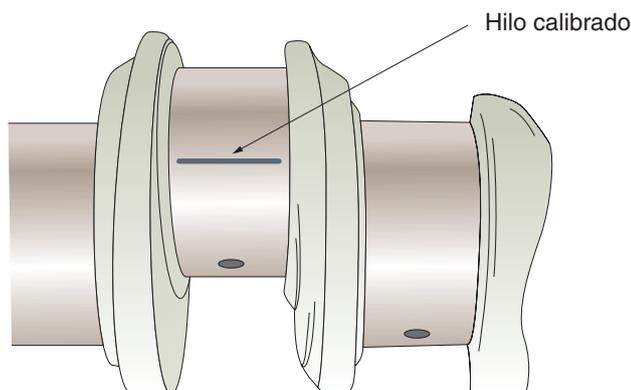
El hilo calibrado *plastigage* consiste en un cordón de material plástico deformable de diámetro conocido. La deformación, que toma por aplastamiento entre el cojinete y la muñequilla, nos dará la medida del juego de montaje (figura 13.29).

Para verificar la holgura en los cojinetes de bancada. Se sitúa el cigüeñal sobre los semicojinetes de bancada. Se coloca, en dirección axial, un trozo de hilo calibrado sobre cada uno de los apoyos, con una longitud ligeramente inferior al largo del apoyo (figura 13.30).

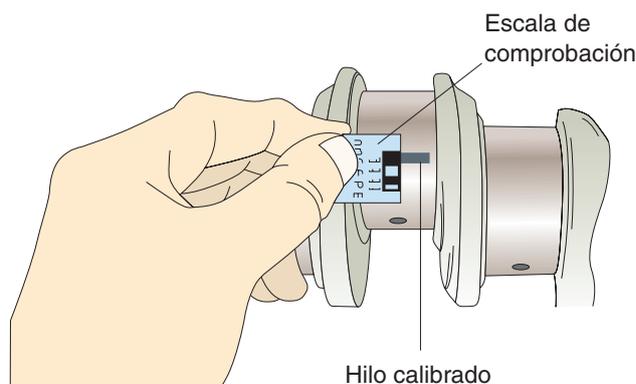
A continuación, se montan las tapas con sus respectivos semicojinetes y se aprieta a su par. En esta operación no se debe girar el cigüeñal.

Se extraen las tapas y se observará que el hilo ha sido aplastado. Es entonces cuando se compara el ancho que ha tomado el hilo con las diferentes medidas de la escala que viene impresa sobre su funda, donde también se indica la medida de la holgura correspondiente (figura 13.31).

Para comprobar los cojinetes de la cabeza de biela se procede de la misma manera.



↑ Figura 13.30. Colocación del hilo calibrado.



↑ Figura 13.31. Comprobación de la holgura radial.

Rectificado del cigüeñal

Si los apoyos o muñequillas están rayados por los efectos de gripado o su desgaste es superior a 0,05 mm, será necesario un rectificado.

Esta operación se realiza en talleres especializados que disponen de máquinas rectificadoras dotadas con muelas de esmeril de grano muy fino que giran a elevadas revoluciones.

El tratamiento de endurecimiento superficial que reciben los apoyos y muñequillas alcanza profundidades de entre 0,8 y 1 mm, por lo que el rectificado no debe superar este espesor.

La medida del rectificado se calcula considerando el desgaste máximo que se encontró al medir y los diámetros de los cojinetes aminorados disponibles como reemplazo. Las medidas en que se aminoran los diámetros generalmente se expresan en pulgadas o en su equivalente en milímetros. Respecto al diámetro original las submedidas más habituales son:

$$-0,005.. \quad -0,010.. \quad -0,020.. \quad -0,030..$$

Su valor en milímetros es respectivamente:

-0,127 mm -0,254 mm -0,508 mm -0,762 mm

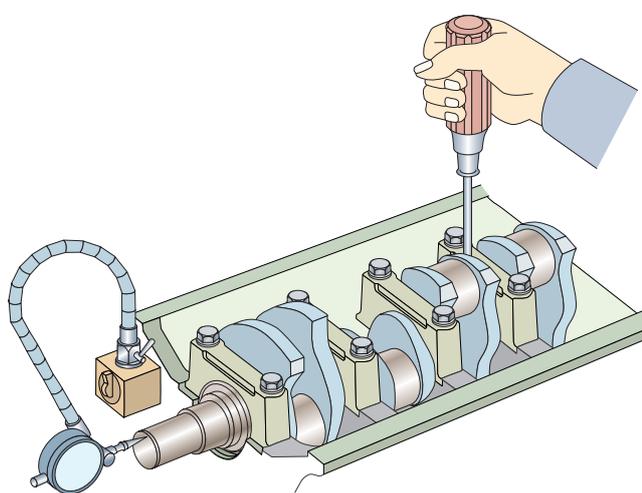
Como ejemplo, se presenta en el siguiente cuadro las posibilidades de rectificado en un cigüeñal que tiene un diámetro original en los apoyos de 52 mm y su juego de montaje con el cojinete es de $0,05 \pm 0,02$ mm.

RECTIFICADO	Ø APOYO	Ø COJINETE	JUEGO DE MONTAJE
0	52	52,05	$0,05 \pm 0,02$
-0,127	51,873	51,923	$0,05 \pm 0,02$
-0,254	51,746	51,796	$0,05 \pm 0,02$
-0,508	51,492	51,542	$0,05 \pm 0,02$
-0,762	51,238	51,288	$0,05 \pm 0,02$

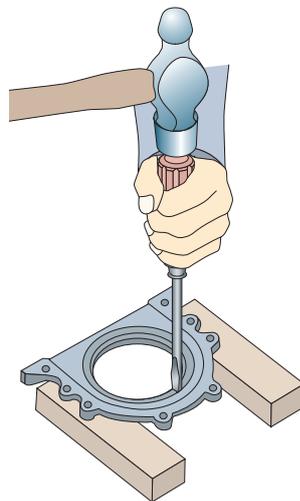
Todos los muñones han de rectificarse a la misma medida, con una tolerancia en el acabado de 0,005 mm. Verificar el juego de montaje después del rectificado. Es muy importante conservar los radios de unión entre los codos y las muñequillas o apoyos.

- Para proceder a comprobar el **juego axial del cigüeñal**, una vez montado y apretado a su par, se coloca un reloj comparador en un extremo del eje del cigüeñal se hace palanca con un destornillador, para desplazarlo hacia un extremo y se fija una referencia en el reloj. Se desplaza el cigüeñal en sentido contrario y se lee la medida del juego axial en el reloj, que debe de encontrarse entre 0,05 y 0,30 mm (figura 13.32). Si no fuera la correcta, se sustituirán los cojinetes axiales por otros con el espesor adecuado.

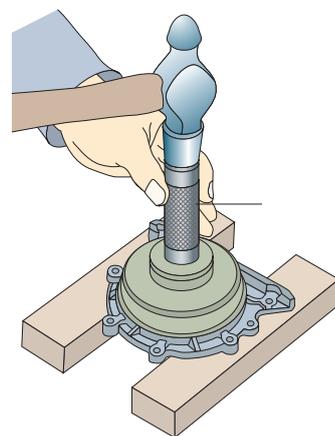
Por último, se sustituye el **retén de aceite del cigüeñal** del lado del volante. Para ello se extrae el retén con un botador o destornillador (figura 13.33). Se instala el nuevo retén en su soporte ayudándose con un útil de diámetro adecuado (figura 13.34).



↑ Figura 13.32. Juego axial del cigüeñal.



↑ Figura 13.33. Extracción del retén.

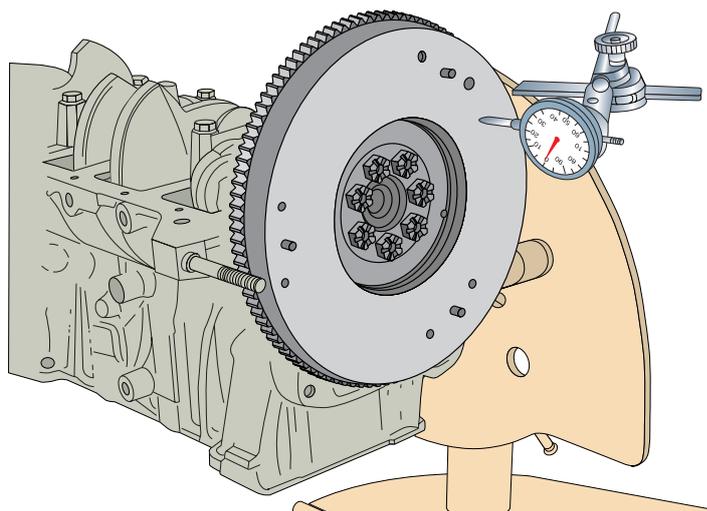


↑ Figura 13.34. Reposición del retén.

Comprobación del volante de inercia

Se debe verificar la superficie de rozamiento con el disco de embrague, si presenta estrías profundas es necesario rectificarlo para dejar la superficie perfectamente plana.

- **Alabeo del volante.** Después de haber sido montado sobre el cigüeñal en el motor, se coloca un reloj comparador con su palpador haciendo contacto en el plano del volante, en una zona periférica, se gira una vuelta completa y se comprueba que el alabeo máximo no es superior a 0,06 mm (figura 13.35).



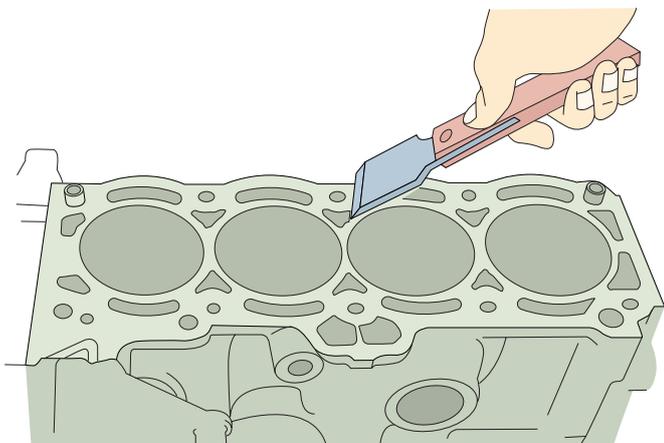
↑ **Figura 13.35.** Comprobación del alabeo del volante.

3.4. Comprobación del bloque motor

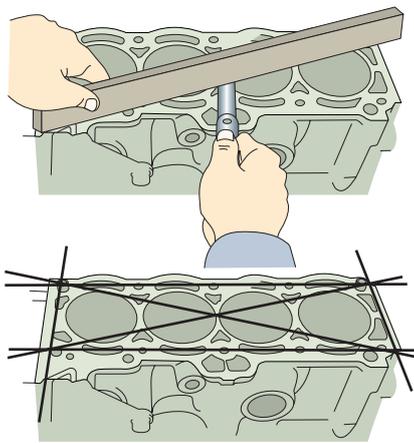
Se debe hacer una revisión del estado general del bloque, comprobar el estado de los orificios roscados y de las superficies mecanizadas. Eliminar con una espátula los restos de junta que hayan quedado adheridos sobre la superficie del bloque, si fuera necesario usar un decapante químico (figura 13.36).

- **Verificar el plano superior del bloque.** Para comprobar su plenitud se emplea una regla y una galga de espesor calibrado, comprobar en posición longitudinal y transversal procurando cubrir toda la superficie (figura 13.37). Usar una galga de 0,05 mm, siempre que los datos técnicos no indiquen otra medida.

En los bloques de hierro fundido no son frecuentes las deformaciones, pero en caso de presentarse se debe de rectificar, eliminando la menor cantidad de material posible.



↑ **Figura 13.36.** Limpieza de la superficie del bloque.



↑ **Figura 13.37.** Comprobación de la planitud del bloque.

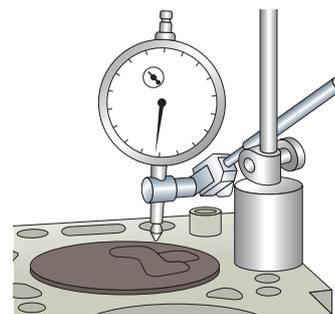
- **Distancia entre el plano superior del bloque y la cabeza del pistón.** En motores Diesel es necesario comprobar esta distancia siempre que el bloque haya sido planificado, o cuando se monten pistones nuevos, con el fin de determinar el espesor de la junta de culata que debe montarse (figura 13.38).

El fabricante suministra juntas de culata con diferentes espesores para corregir esta distancia e impedir que varíe la relación de compresión y la proximidad de las válvulas al pistón.

- **Ovalamiento de los cojinetes de bancada.** Se deben colocar los semicojinetes, poner las tapas y apretar a su par. Con un alexómetro medir el diámetro en sentido horizontal y vertical. Obtener el ovalamiento por diferencia entre ambos diámetros (máximo 0,04 mm).

El **juego de montaje con el apoyo del cigüeñal** es la diferencia entre el máximo diámetro del cojinete y el mínimo del apoyo.

El **desgaste máximo** de los cojinetes será la diferencia entre el diámetro máximo encontrado y el diámetro de origen.



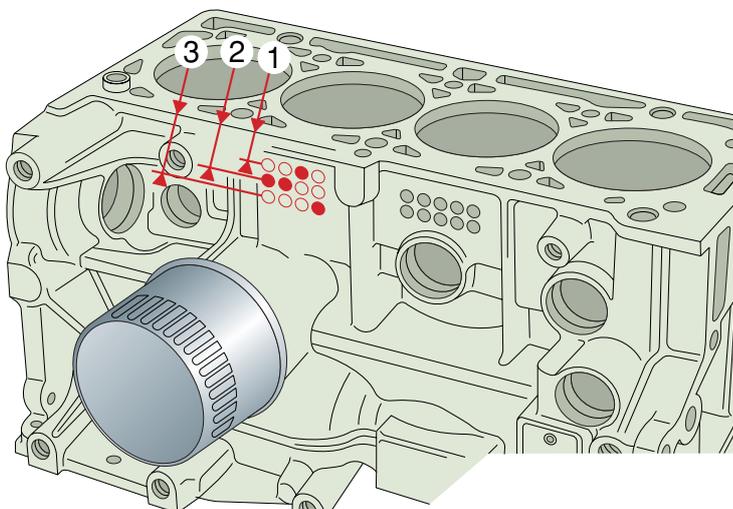
↑ **Figura 13.38.** Comprobación de la distancia del pistón al plano del bloque.

Medición de los cilindros

Para valorar el desgaste sufrido por los cilindros tomaremos como referencia la medida estándar o diámetro original del cilindro. Esta medida no es única sino que para un mismo bloque los cilindros pueden tener diferentes diámetros. Después de su fabricación los cilindros son medidos y clasificados, generalmente en tres o cuatro clases escalonadas en 0,01 mm.

La clase o familia a la que pertenece cada cilindro viene marcada normalmente sobre el bloque (figura 13.39). El diámetro del cilindro correspondiente a cada clase se especifica en la documentación técnica del motor.

Veamos el ejemplo de la figura 13.39: los cilindros 1 y 2 pertenecen a la clase 2, el número 3 es de clase 1 y el 4 de clase 3.



↑ **Figura 13.39.** La posición de la marca indica la clase del cilindro.

CLASE	DIÁMETRO DEL CILINDRO
1	79,50 a 79,51
2	79,51 a 79,52
3	79,52 a 79,53

caso práctico inicial

Al tratarse de un motor con camisas húmedas, tras su verificación, se procede al cambio de los conjuntos de camisa y pistón.

El proceso de medición es el siguiente:

Una vez seleccionada la correspondiente clase de cada cilindro, se procede a medir sus diámetros.

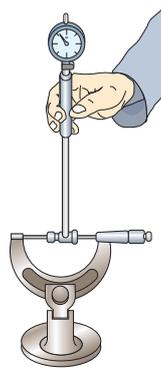
Para ello, se empleará un reloj comparador y un alexómetro provisto de un adaptador adecuado al diámetro del cilindro que se trata de medir, también será necesario un micrómetro.

Se fija en el micrómetro la medida original del cilindro y se ajusta sobre el palpador del alexómetro. En esta posición se procede a mover la esfera del reloj hasta que la aguja coincida con el cero; esta será la referencia para comparar las mediciones.

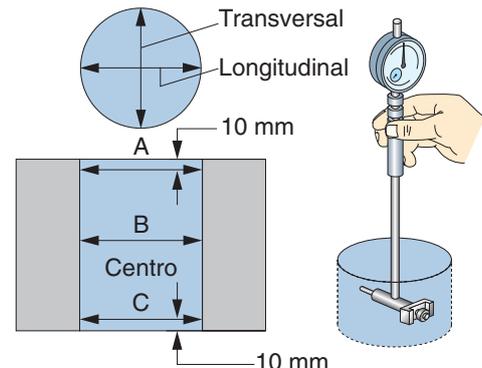
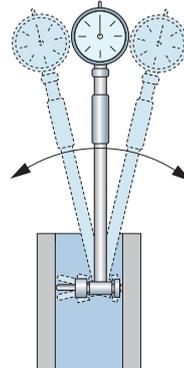
Se introduce el alexómetro en el cilindro y se balancea; la aguja se moverá hacia ambos lados de la esfera del reloj, el punto donde cambia de sentido corresponde a la menor lectura, que es el diámetro buscado (figura 13.40).

Esta lectura se debe comparar con el cero anteriormente fijado, la diferencia de medidas será el desgaste del cilindro.

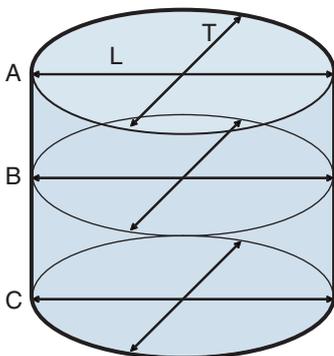
En cada cilindro tomar medidas a tres alturas diferentes, la primera a unos 10 mm del plano superior del cilindro, la segunda a la mitad y, la tercera, a 10 mm del borde inferior del cilindro, en sentido longitudinal (L) y otras tres en sentido transversal (T) al bloque (figura 13.41). Anotar los resultados.



↑ Figura 13.40. Empleo del alexómetro.



↑ Figura 13.41. Medición de los cilindros.



↑ Figura 13.42. Medidas del cilindro a tres alturas.

El **ovalamiento** será la diferencia máxima entre el diámetro longitudinal y el diámetro transversal. El máximo ovalamiento se localiza normalmente en la zona superior, siendo el mayor diámetro el transversal.

La **conicidad** es la diferencia máxima entre los diámetros superior e inferior, tomados en el mismo plano. Como ejemplo, se exponen a continuación las medidas obtenidas en un cilindro con un diámetro de origen de 79,51 a 79,52 mm.

	T	L	Ovalamiento
A	79,64	79,58	0,06
B	79,57	79,54	0,03
C	79,54	79,53	0,01
Conicidad	0,10	0,05	

Desgaste máximo:	$79,64 \text{ mm} - 79,52 \text{ mm} = 0,12 \text{ mm}$
Ovalamiento máximo:	$79,64 \text{ mm} - 79,58 \text{ mm} = 0,06 \text{ mm}$
Conicidad máxima:	$79,64 \text{ mm} - 79,54 \text{ mm} = 0,10 \text{ mm}$

Rectificado de cilindros

En primer lugar, se debe consultar en los datos técnicos la medida de desgaste máxima admitida por el fabricante. Si no se especifica este dato, se tomará como media 0,10 mm.

En caso de encontrarse un desgaste mayor, es necesario rectificar o cambiar las camisas, dependiendo del tipo de cilindros de que se trate.

El rectificado o mandrinado de cilindros se realiza en grandes máquinas que consiguen una alta precisión. La herramienta de corte tiene una rígida sujeción para evitar las vibraciones, gira a una elevada velocidad y trabaja con profundidades de corte muy pequeñas (figura 13.43).

El rectificado debe hacerse eliminando la menor cantidad de material posible, ajustando el diámetro del cilindro a la medida de los pistones que se suministran como recambio y manteniendo el juego de montaje entre pistón y cilindro:

$$\text{Medida del rectificado} = \text{Diámetro del pistón} + \text{Juego de montaje}$$

Cada fabricante ofrece dos o tres medidas mayorizadas de pistones. Por ejemplo:

$$+ 0,25 \text{ mm} \quad + 0,50 \text{ mm} \quad + 0,75 \text{ mm}$$

En el caso del cilindro medido anteriormente, con un desgaste máximo de 0,12 mm, se rectificaría para un pistón de + 0,25 mm.

Diámetro original del cilindro: 79,51 a 79,52 mm

Diámetro original del pistón: 79,47 a 79,48 mm

Juego de montaje: $79,52 - 79,48 = 0,04 \text{ mm}$

Diámetro del nuevo pistón: $79,48 + 0,25 = 79,73 \text{ mm}$

Medida de rectificado: $79,73 + 0,04 = 79,77 \text{ mm}$

Después del rectificado, se montan los nuevos pistones a sobremedida y se verifica el juego de montaje entre pistón y cilindro, deberá de encontrarse dentro de los límites de tolerancia especificados en los datos técnicos.

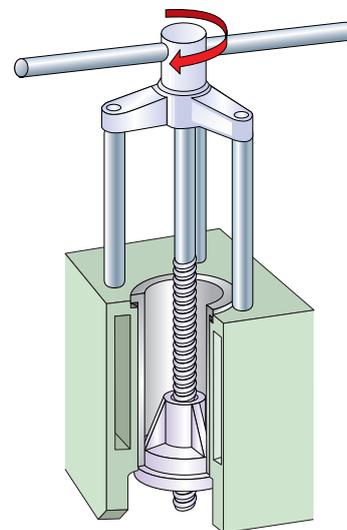
Sustitución de camisas secas

Las camisas secas se montan con interferencia. Para su desmontaje es necesario un extractor o bien una prensa hidráulica con los útiles adaptados a su diámetro (figura 13.44).

Antes de montar las nuevas camisas es necesario asegurarse de que la diferencia entre el diámetro exterior de estas y el diámetro interior del cilindro es la correcta. El valor de la interferencia suele estar entre 0,03 y 0,04 mm. Si es menor, se usarán camisas con el diámetro exterior mayorizado.



↑ Figura 13.43. Rectificadora de cilindros.



↑ Figura 13.44. Extracción de una camisa seca.

Para el montaje de camisas secas, el proceso es el siguiente:

- Lubricar las superficies de ambas piezas y situar la camisa sobre el alojamiento del bloque.
- Aplicar la prensa interponiendo un útil que se adapte a los diámetros interior y exterior de la camisa.
- Controlar que la presión no exceda en ningún momento de 5.000 bares.
- Al final del montaje dar un golpe de presión para asegurar su asentamiento, sin superar nunca la presión indicada anteriormente.
- Consultar y seguir las instrucciones particulares que dé el fabricante sobre el montaje.
- Después de insertada la camisa, es necesario rectificarla a su diámetro definitivo.

Sustitución de camisas húmedas

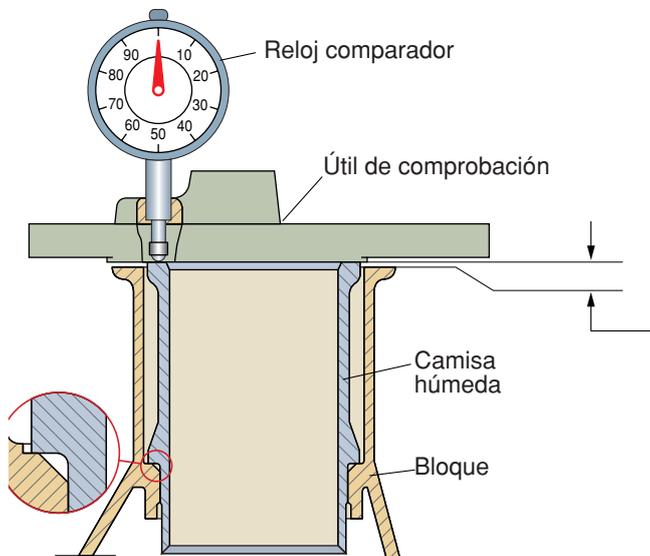
La sustitución de estas camisas ha de hacerse conjuntamente con el pistón.

Antes del montaje definitivo, introducir las camisas en sus alojamientos del bloque sin junta y comprobar la altura que sobresalen respecto al plano del bloque (entre 0,03 y 0,20 mm). Utilizar un reloj comparador con el útil apropiado (figura 13.45).

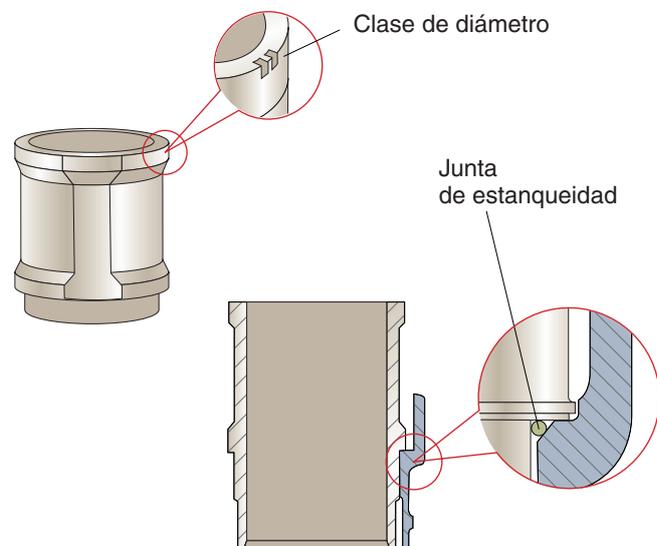
Colocarlas de forma que queden escalonadas, de mayor a menor altura, comenzando por la número 1. Verificar que no haya una diferencia superior a 0,05 mm entre dos camisas consecutivas. Esta colocación tiene la finalidad de que todas las camisas queden igualmente sujetas cuando se apriete la culata.

En el caso de montar las mismas camisas usadas, se debe conservar la misma posición que tenían cuando se desmontaron.

Al montar, colocar las juntas tóricas en sus alojamientos cuidando de que no queden retorcidas una vez colocadas, comprobar que ajustan correctamente (figura 13.46).



↑ Figura 13.45. Altura de la camisa respecto al bloque.



↑ Figura 13.46. Instalación de la camisa con su junta.

4. Montaje del motor

En el montaje se deben sustituir todas las juntas y retenes así como los tornillos y las arandelas que no conserven un buen estado. Además se pondrá especial atención en las siguientes operaciones:

- Aceitar abundantemente las piezas que se van a montar.
- Conservar la posición y lugar de montaje que tenían las piezas originalmente.
- Aplicar los pares de apriete recomendados.
- Sellar convenientemente con juntas y retenes para evitar fugas.

4.1. Montaje del cigüeñal

Se limpian cuidadosamente los alojamientos de los cojinetes de bancada y de las tapas. Se colocan los semicojinetes, cada uno en su lugar correspondiente, haciendo coincidir el talón de posicionado y los orificios de engrase; comprobar que asientan perfectamente en sus alojamientos.

Se colocan los **cojinetes axiales** asegurándose de que el material antifricción y las ranuras quedan hacia fuera (figura 13.47).

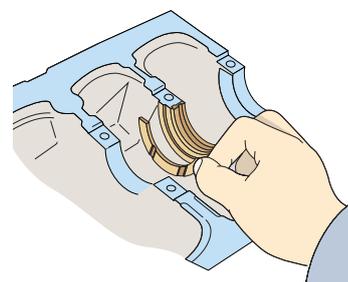
A continuación se aceitan abundantemente los cojinetes y se coloca el cigüeñal. Debe evitarse girar el cigüeñal para no mover los cojinetes.

Se colocan las **tapas de bancada** en su lugar y posición correcta. Se aprietan a su par con llave dinamométrica y se comprueba que el cigüeñal gira libre y regularmente, pero ofreciendo una ligera resistencia (figura 13.48).

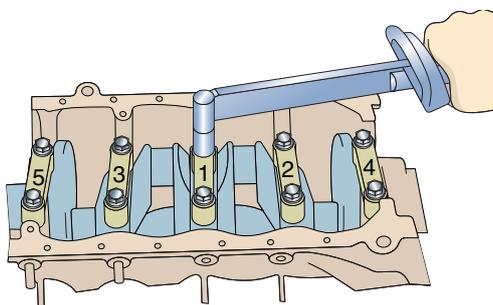
Se verifica el juego axial del **cigüeñal**.

Se coloca el retén del cigüeñal nuevo sobre su soporte y se monta con su junta.

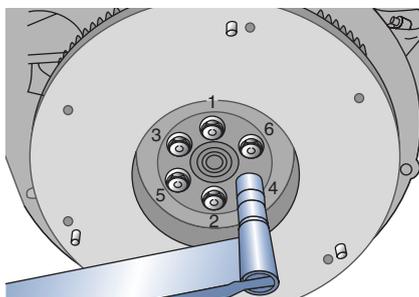
Se monta el **volante de inercia** haciendo coincidir la marca que se hizo al desmontar. Se aprietan los tornillos al par correspondiente (figura 13.49).



↑ **Figura 13.47.** Colocación de los cojinetes axiales.



↑ **Figura 13.48.** Orden de apriete de las tapas de bancada.

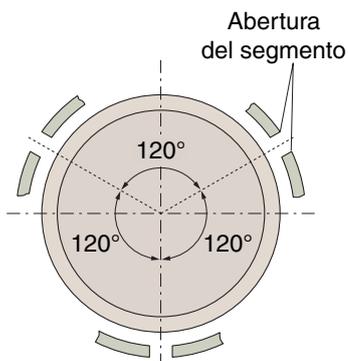


↑ **Figura 13.49.** Montaje del volante de inercia.

4.2. Montaje del pistón sobre la biela

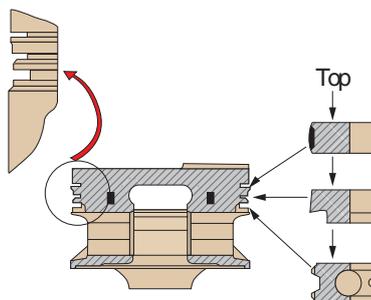
En primer lugar se posicionan ambas piezas correctamente, se introduce el bulón y se montan los anillos de seguridad.

Si el bulón va montado con interferencia sobre la biela, se procede como se explicó en el punto 3 de esta unidad didáctica.

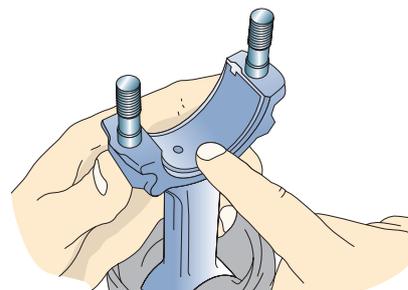


↑ **Figura 13.50.** Posición de los segmentos para el montaje.

Los segmentos se montan sobre el pistón abriendo sus puntas con un alicate expansor hasta que se puedan introducir por la cabeza del pistón. Se comienza por el de engrase, luego el de compresión y después el de fuego. La marca «TOP» o cualquier otra se coloca siempre orientada hacia la cabeza del pistón (figura 13.51). Las aberturas de los tres segmentos deben quedar distribuidas a 120° (figura 13.50). Se colocan los semicojinetes sobre la cabeza de la biela y el sombrerete (figura 13.52).



↑ **Figura 13.51.** Instalación de los segmentos.

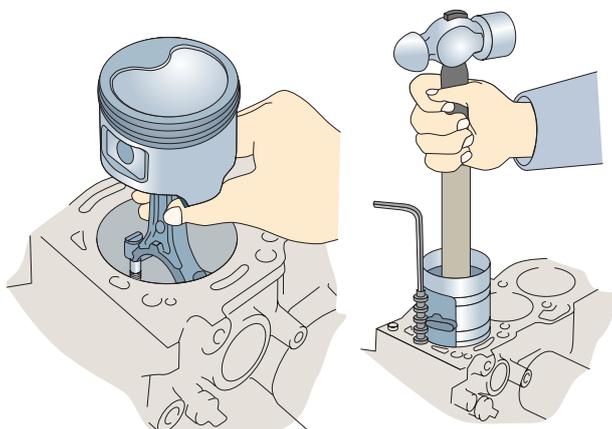


↑ **Figura 13.52.** Colocación de los semicojinetes de biela.

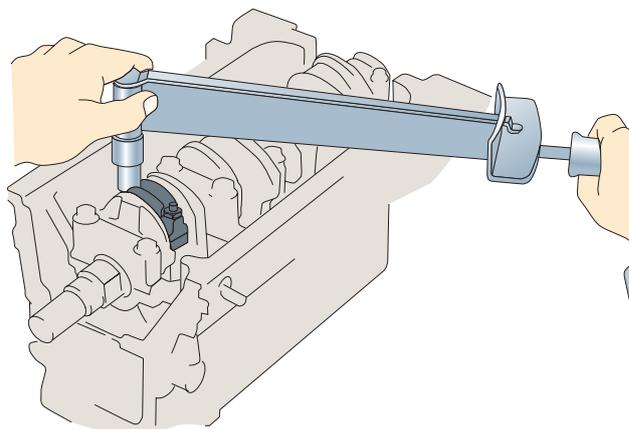
4.3. Montaje de los conjuntos biela-pistón

Lubricar los pistones y cilindros abundantemente con aceite de motor. Comprimir los segmentos con un cincho e introducir el conjunto por la parte superior del bloque conservando la posición que tenía antes del desmontaje. Empujar el pistón con el mango de un mazo, mientras se orienta la cabeza de biela para que encaje en su muñequilla (figura 13.53).

Dar la vuelta al motor. Aceitar la muñequilla del cigüeñal y colocar el sombrerete de biela en la posición adecuada, de forma que coincida la numeración que viene impresa en un lateral. Apretar los tornillos al par correspondiente (figura 13.54).



↑ **Figura 13.53.** Introducción del conjunto biela-pistón.



↑ **Figura 13.54.** Apriete de los sombreretes de biela.

Repetir la operación con el resto de los conjuntos. Una vez montados, comprobar que el cigüeñal puede girar regularmente y sin puntos duros.

Montar la bomba de engrase y el cárter con una junta nueva.

Dar la vuelta al motor y **montar la culata y el sistema de distribución** como se explicó en el punto 3 de la unidad didáctica 10. Realizar el calado de distribución como se indica en la unidad didáctica 11.

Sobre el motor se montarán: los dispositivos de alimentación y encendido; el alternador y el motor de arranque; el embrague y la caja de velocidades.

El grupo motopropulsor se montará sobre el vehículo, siguiendo el proceso inverso al que se explicó en el punto 2 de la unidad didáctica 7.

Una vez terminado el montaje, echar el aceite lubricante, llenar y purgar el circuito de refrigeración. A continuación, arrancar el motor y comprobar que su giro es regular y que no existen ruidos extraños ni fugas de aceite o líquido refrigerante.

Durante el calentamiento del motor, hay que vigilar la presión de aceite y la temperatura, ya que si se enciende alguno de estos indicadores se debe parar inmediatamente el motor y buscar cuál es la causa.

Mantener el motor en marcha hasta alcanzar la temperatura de régimen. Realizar el control de emisiones mediante un analizador de gases de escape. Conectar el equipo de diagnosis a través de la conexión EOBD. El sistema permite elegir entre diferentes funciones. Proceder a leer la memoria de averías. Hacer una medición de valores reales. Borrar la memoria de averías después de haber sido reparadas.

Finalmente hacer un recorrido de prueba con el vehículo y verificar que todo está en orden.

TOLERANCIA DE MEDIDAS Y VALORES MEDIOS DE LAS COMPROBACIONES		
COMPROBACIONES	VALORES MEDIOS	MÁXIMOS
PISTONES		
Diferencia de pesos		4 g
Juego radial bulón – pie de biela	0,01 - 0,03 mm	0,08 mm
Juego pistón – cilindro	0,02 - 0,05 mm	0,10 mm
SEGMENTOS		
Abertura entre puntas	0,20 - 0,50 mm	0,80 mm
Holgura lateral	0,01 - 0,05 mm	0,10 mm
BIELAS		
Diferencia de pesos		6 g
Ovalamiento (cabeza de biela)		0,03 mm
Juego radial con la muñequilla	0,02 - 0,06 mm	0,15 mm
Juego axial en la muñequilla	0,10 - 0,30 mm	
CIGÜEÑAL		
Excentricidad del apoyo central		0,04 mm
Ovalamiento de apoyos y muñequillas		0,04 mm
Conicidad de apoyos y muñequillas		0,03 mm
Límite de desgaste para rectificar		0,05 mm
Juego radial	0,02 - 0,05 mm	0,15 mm
Juego axial	0,05 - 0,30 mm	
VOLANTE		
Alabeo		0,06 mm
BLOQUE		
Planitud		0,05 mm
Ovalamiento cojinetes de bancada		0,04 mm
CILINDROS		
Ovalamiento		0,05 mm
Conicidad		0,05 mm
Límite de desgaste para rectificar		0,10 mm

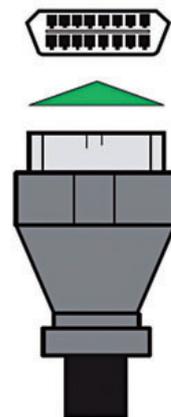
Nota: estos datos son orientativos y solamente se aplicarán cuando se desconozcan los datos técnicos del fabricante.

saber más

El sistema de diagnóstico de a bordo EOBD (Euro On-Board Diagnosis)

Se trata de un sistema de diagnóstico integrado en la gestión del motor del vehículo que vigila continuamente el funcionamiento de todos los sistemas que influyen en la calidad de los gases de escape. Si surge cualquier fallo, el sistema lo detecta, memoriza y visualiza a través del testigo de aviso de gases de escape (MIL). (Malfunction Indicator Lamp).

Los datos memorizados del EOBD pueden ser consultados a través de un conector para diagnosis normalizado. Los códigos de avería han sido estandarizados, para que sea posible consultar los datos con cualquier aparato de diagnosis de tipo genérico.



↑ Figura 13.55. Conector de diagnóstico.



ACTIVIDADES FINALES

En las operaciones a realizar sobre los pistones, las bielas, el cigüeñal y el bloque de cilindros deberán aplicarse las normas y procedimientos recomendados en la documentación técnica. Realiza todas las mediciones con la máxima precisión.

- 1. Mide la presión de compresión en los cilindros:
 - Lleva el motor a su temperatura de funcionamiento.
 - Extrae las bujías y aplica el compresógrafo.
 - Acciona el motor de arranque para obtener las gráficas de compresión.
 - Evalúa los resultados y detecta los lugares donde se producen las pérdidas de compresión.

- 2. Extrae el motor y desmonta la culata:
 - Coloca el vehículo en un elevador de brazos o sobre caballetes.
 - Sigue el proceso de desmontaje recomendado en la documentación técnica.
 - Extrae el grupo motopropulsor y colócalo sobre un soporte giratorio.
 - Haz coincidir las marcas de distribución, afloja el tensor y retira la correa de la rueda dentada del árbol de levas.
 - Afloja los tornillos de culata en el mismo orden de apriete y extrae la culata.

- 3. Desmonta pistones, bielas y cigüeñal:
 - Vacía el aceite, retira el cárter y la bomba de engrase.
 - Desmonta los sombreretes de biela, extrae los conjuntos biela-pistón y desmonta los semicojinetes.
 - Extrae los segmentos y desarma el conjunto biela-pistón.
 - Desmonta el volante de inercia y el retén del extremo del cigüeñal.
 - Desmonta los sombreretes de bancada y extrae el cigüeñal.
 - Desmonta los semicojinetes de bancada y los cojinetes axiales.
 - Limpia todas las piezas desmontadas.

- 4. Comprueba en los pistones los siguientes elementos:
 - Diferencia de peso entre los pistones.
 - Diámetro del pistón.
 - Juego de montaje con el cilindro.
 - Juego de montaje entre bulón y su alojamiento.
 - Mide el espesor de cada segmento.
 - Abertura entre puntas de los segmentos.
 - Holgura axial de cada segmento en su caja.

- 5. Comprueba en las bielas los siguientes elementos:
 - Diferencia de peso entre bielas.
 - Alineación de los ejes de biela.
 - Ovalamiento del cojinete de pie de biela.
 - Juego de montaje con el bulón.
 - Ovalamiento de la cabeza de biela.
 - El estado de los semicojinetes.

- 6. Comprueba en el cigüeñal los siguientes elementos:
 - Excentricidad de apoyo central.
 - Ovalamiento de las muñequillas y los apoyos.
 - Conicidad de las muñequillas y los apoyos.
 - Juego de montaje de las muñequillas.
 - Juego de montaje de los apoyos.
 - Espesor de los cojinetes axiales del cigüeñal.
 - Cálculo de la medida de rectificado del cigüeñal.
 - Juego axial del cigüeñal.
 - Juegos de montaje con hilo calibrado.

- 7. Comprueba en el bloque motor los siguientes elementos:
 - Plano superior del bloque.
 - Ovalamiento de los cojinetes de bancada.
 - Juego de montaje entre los cojinetes de bancada y los apoyos del cigüeñal.
 - Ovalamiento de los cilindros.
 - Conicidad de los cilindros.
 - Cálculo de la medida de rectificado de los cilindros.

- 8. Resuelve en tu cuaderno: anota los valores obtenidos. Para ello, primero anota los valores de origen que aparecen en los datos técnicos. En las tablas se anotan los valores obtenidos en las comprobaciones.

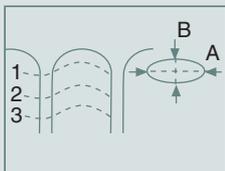
PISTONES

∅ Nominal =

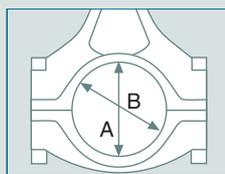
	1	2	3	4
∅				

CILINDROS

∅ Nominal =



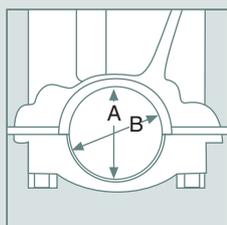
	A	B	Oval.									
1												
2												
3												
Conic.												
Holg. pistón-cilindro												



BIELAS

∅ Nominal cabeza de biela =

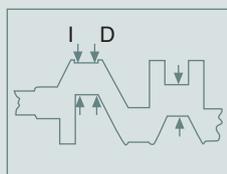
	D	I	Conic.									
A												
B												
Oval.												



BANCADA

∅ Nominal apoyo de bancada =

	1			2			3			4			5		
	D	I	Conic.												
A															
B															
Oval.															



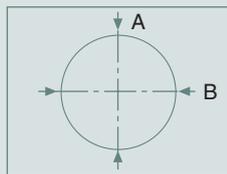
CIGÜEÑAL

∅ Nominal apoyos =

∅ Nominal muñequillas =

Holgura axial =

	1			2			3			4			5		
	D	I	Conic.												
A															
B															
Oval.															
Holg. radial															



	1			2			3			4		
	D	I	Conic.									
A												
B												
Oval.												
Holg. radial												

Oval.: ovalamiento Conic.: conicidad D: lado derecho I: lado izquierdo

Obtén los juegos de montaje, ovalamiento y conicidad máximos. Para ello compara los valores obtenidos con los datos técnicos para determinar qué elementos se deben reparar o sustituir.

- 9. Monta el motor e instálalo sobre el vehículo:
 - Coloca los semicojinetes de bancada y los axiales.
 - Sitúa el cigüeñal, coloca las tapas de bancada y aprieta a su par.
 - Comprueba el juego axial del cigüeñal.
 - Monta el volante de inercia.
 - Monta los pistones sobre las bielas y coloca los segmentos.
 - Monta los semicojinetes sobre la cabeza de biela.
 - Monta sobre el motor los conjuntos biela-pistón.
 - Aprieta los sombreretes de biela y comprueba que el cigüeñal gira regularmente.
 - Monta la bomba de engrase y el cárter.
 - Monta la culata y el sistema de distribución.
 - Monta los elementos auxiliares.
 - Monta el grupo motopropulsor sobre el vehículo.

- 10. Ponlo a punto, arráncalo y comprueba su correcto funcionamiento:
 - Llena los circuitos de engrase y refrigeración.
 - Pon a punto los sistemas de alimentación y encendido.
 - Comprueba que el funcionamiento del motor sea correcto.

- 11. Cita las averías que pueden afectar a los elementos del tren alternativo y a los cilindros.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Qué condiciones son necesarias para medir la presión de compresión?

- a) Motor caliente y mariposa de gases cerrada.
- b) Motor caliente y mariposa de gases en plena apertura.
- c) Sistema de encendido e inyectores conectados.
- d) Motor frío y mariposa de gases abierta.

2 ¿Por dónde se producen con más frecuencia las fugas de compresión?

- a) Por las válvulas, el pistón y el cárter.
- b) Por los segmentos pie de biela y pistón.
- c) Por las válvulas, las cámaras de refrigeración y el cárter.
- d) Por los segmentos, las válvulas y la junta de culata.

3 ¿En qué zona se mide el diámetro del pistón?

- a) En el mismo sentido del bulón, por encima de este.
- b) Transversalmente al bulón, a la altura de este.
- c) En la zona de segmentos.
- d) En cualquier zona ya que es cilíndrico.

4 ¿Cómo se comprueba la excentricidad del cigüeñal?

- a) Con un reloj comparador sobre el apoyo central.
- b) Con un micrómetro tomando dos diámetros perpendiculares.
- c) Con una regla de planitud y una galga.
- d) Con un reloj comparador y un alexómetro.

5 ¿Cómo se obtiene el juego de montaje entre un apoyo del cigüeñal y el cojinete de bancada?

- a) Comparando dos diámetros perpendiculares.
- b) Comparando el menor diámetro del apoyo con el mayor del cojinete.
- c) Con un reloj comparador apoyado en el extremo de cigüeñal.
- d) Introduciendo una galga entre ambos elementos.

6 El hilo calibrado se utiliza para medir:

- a) La holgura axial.
- b) El ovalamiento.
- c) La conicidad.
- d) El juego de montaje.

7 ¿Cuál es la medida de rectificado para un cilindro cuyo pistón mayorizado mide 80,50 mm. y tiene un juego de montaje de 0,05 mm?

- a) 80,55.
- b) 81.
- c) 85,5.
- d) 80,45.

8 ¿Cómo se mide la conicidad de los cilindros?

- a) Comparando diámetros perpendiculares a tres alturas.
- b) Comparando el mayor diámetro con el original.
- c) Comparando tres diámetros en el mismo plano.
- d) Comparando seis diámetros perpendiculares.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Llave dinamométrica
- Hilo calibrado

MATERIAL

- Motor sobre soporte
- Documentación técnica

Sustitución de los cojinetes de bancada

OBJETIVO

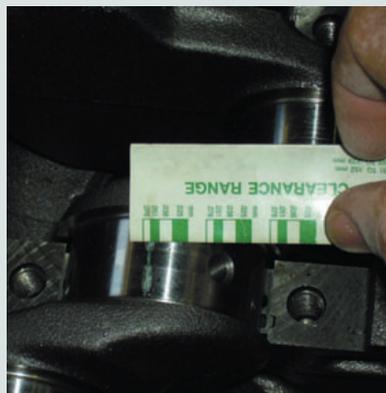
Comprobar y sustituir el juego completo de cojinetes de bancada.

DESARROLLO

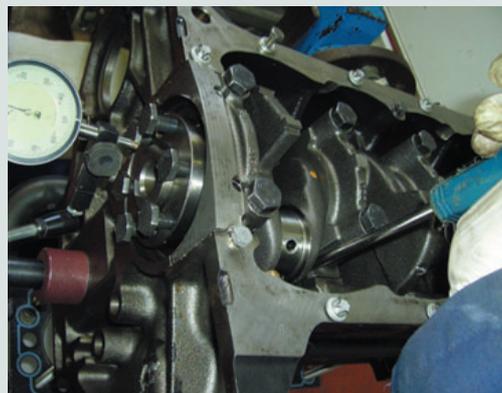
1. Se desmonta la culata, los pistones y bielas y el cigüeñal.
2. Se comprueba visualmente el estado de los cojinetes de bancada. Si presentan rayas o señales de excesivo desgaste del material antifricción se procederá a sustituir los cojinetes por otros de igual medida. La referencia para pedido suele venir grabada en su parte posterior.
3. Se limpian los alojamientos de la bancada y los sombreretes y se colocan los nuevos cojinetes en sus alojamientos respectivos. Prestar atención a la colocación del talón de posición y a los orificios de engrase.
4. Se verifica el juego de montaje con el cigüeñal utilizando hilo calibrado, para ello se procede del siguiente modo:
Se coloca el cigüeñal sobre la bancada provista de los nuevos cojinetes. Se pone una tira de hilo calibrado en cada apoyo del cigüeñal. Se coloca cada sombrerete en su posición y se aprietan los tornillos a su par.
5. A continuación se desmontan todos los sombreretes y se determina el juego de montaje comparando el ancho que ha adquirido el hilo con la medida de referencia. Se comparan los resultados obtenidos con los de la documentación técnica.
6. Se extrae el cigüeñal, se colocan los cojinetes axiales y se lubrican abundantemente los cojinetes. Se vuelve a colocar el cigüeñal, se aprietan los sombreretes y se comprueba que gira libremente.
7. Se comprueba la holgura axial del cigüeñal, se coloca un reten nuevo y se monta el volante. Se procede a montar los conjuntos biela-pistón y los demás elementos en orden inverso al desmontaje. Seguir siempre las recomendaciones de la documentación técnica.



↑ Figura 13.56. Conjunto de cojinetes.



↑ Figura 13.57. Ancho del hilo calibrado.



↑ Figura 13.58. Holgura axial del cigüeñal.

Medición de los cilindros

OBJETIVO

Tomar las medidas para comprobar el estado de los cilindros.

DESARROLLO

Consultar en la documentación técnica la medida del diámetro de los cilindros. Buscar sobre el bloque motor la marca que identifica la clase de cada cilindro. Los cilindros 1, 2 y 4 son de clase 1 y el número 3 de clase 2 (figura 13.60).

Montar el reloj comparador sobre el alexómetro y acoplar el suplemento adecuado al diámetro del cilindro.

En un micrómetro ajustar la medida del diámetro del cilindro (76,52 mm para el número 3 y 76,51 para el 1), con esta medida poner a cero el reloj comparador del alexómetro.

Introducir el alexómetro en el cilindro y balancearlo lateralmente. A su paso por la vertical la aguja cambia de sentido, en este punto se debe tomar la medida. La diferencia entre esta medida y el cero anteriormente fijado será la medida del desgaste del cilindro.

Tomar tres medidas en sentido longitudinal del motor, una en la parte superior, otra en el centro y otra más en la parte inferior. Tomar otras tres en sentido transversal.

Medidas máximas obtenidas:

Ovalamiento máximo – 0,04 mm

Conicidad máxima – 0,07

Diferencia con el diámetro original – 0,1

	Pistón	Cilindro
Rectificado 1 (mm)	76,705	76,76
Rectificado 2 (mm)	76,955	77,01

La diferencia entre el diámetro medido y el original (0,1) es superior al desgaste máximo permitido (0,08)

Juego de montaje pistón – cilindro (mm)	0,055
Desgaste máximo permitido	0,08

Medida del rectificado =
= Diámetro del pistón + Juego de montaje

Diámetro del cilindro rectificado = $76,705 + 0,055 = 76,76$

Clase	∅ Cilindro
1	76,51
2	76,52
3	76,53



↑ Figura 13.60. Clase de los cilindros.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Alexómetro y reloj comparador
- Micrómetro

MATERIAL

- Bloque motor
- Documentación técnica



↑ Figura 13.59. Puesta a cero con micrómetro.



↑ Figura 13.61. Medición.

MUNDO TÉCNICO

El reacondicionamiento de un bloque de motor Alusil

Tratamiento previo del bloque de motor

Primero se aprietan los tornillos de las tapillas de cojinete con el par de apriete prescrito. Luego se coloca el motor en la mandrinadora, alineándolo con precisión y sujetándolo en la posición final de mecanizado.

Las camisas de cilindro semiterminadas de Alusil, ofrecidas por KS, se fabrican con una tolerancia máxima del diámetro exterior de 0,03 mm. Para conseguir un mandrinado exacto del cilindro, se recomiendan los siguientes ciclos de trabajo para el taladro de recepción de las camisas Alusil.

1ª fase: mandrinado preliminar con un rebaje máximo de material de 7/10 mm

2ª fase: mandrinado final con un rebaje máximo de material de 5/10 mm

Como las camisas de cilindro secas son de paredes muy delgadas, pueden sufrir cambios dimensionales en el estado de distensión, como por ejemplo de ovalación.

Pero una vez montadas, después del proceso de contracción, adoptan la forma cilíndrica del taladro base. Finalmente, se tornea un bisel de $0,5 + 0,1 \text{ mm} \times 45^\circ$ en el canto superior del taladro de cilindro.

Colocación de la camisa de cilindro Alusil

• Colocación con hielo seco

Un método de colocación relativamente sencillo es la utilización de CO_2 (dióxido de carbono) que se obtiene en botellas a presión.

El principio físico es el siguiente: al emanar el gas, la súbita y fuerte expansión forma hielo seco. El hielo seco se puede recoger en un recipiente aislante, que deberá reunir los requisitos necesarios de aislamiento y solidez. Con el hielo seco se puede enfriar la camisa de cilindro Alusil hasta una temperatura de aprox. 80° bajo cero.

• Colocación con nitrógeno líquido

La camisa de cilindro se sumerge en el nitrógeno líquido, con lo que alcanza una temperatura de 180° bajo cero.

El nitrógeno líquido se puede obtener del distribuidor de gases.



• Calentamiento del bloque de motor

El bloque de motor se puede calentar en un horno de tamaño adecuado. El bloque se introduce en el horno precalentado, donde permanece aprox. 20 - 30 minutos.

En la colocación con hielo seco, el bloque de motor se debe calentar a una temperatura de 160° Celsius. En la colocación con nitrógeno líquido el calentamiento del bloque de motor no es imprescindible, pero si existe la posibilidad recomendamos calentarlo a aprox. $100 - 120^\circ$ Celsius. Para garantizar una colocación fiable se necesita una diferencia de temperatura de aprox. 200° C entre bloque de motor y camisa.

• Colocación de la camisa de cilindro

La colocación de la camisa no presenta ninguna dificultad, ya que al enfriarse su diámetro se reduce en aprox. 0,1 mm, mientras que el cilindro se agranda en aprox. 0,25 mm debido al calentamiento del bloque de motor, lo que otorga un huelgo de aprox. 0,35 mm para la colocación de la camisa. Solamente se debe poner atención al realizar la colocación con relativa rapidez, ya que se trata de una camisa de cilindro de paredes muy delgadas y el aluminio es un muy buen conductor térmico.

Frenteado del bloque de motor

Después de alinear el motor se procede al frenteado. El rebaje de material debe ser de 0,1 mm para garantizar una superficie completamente plana.

Bruñido previo, bruñido final y pulido

Las tres primeras fases de trabajo (bruñido previo, bruñido final y pulido) se efectúan con piedras de bruñir diferentes. El tipo de herramientas utilizadas (piedras y aceite para bruñir), varían en función del tipo de motor.

Lapeado al silicio

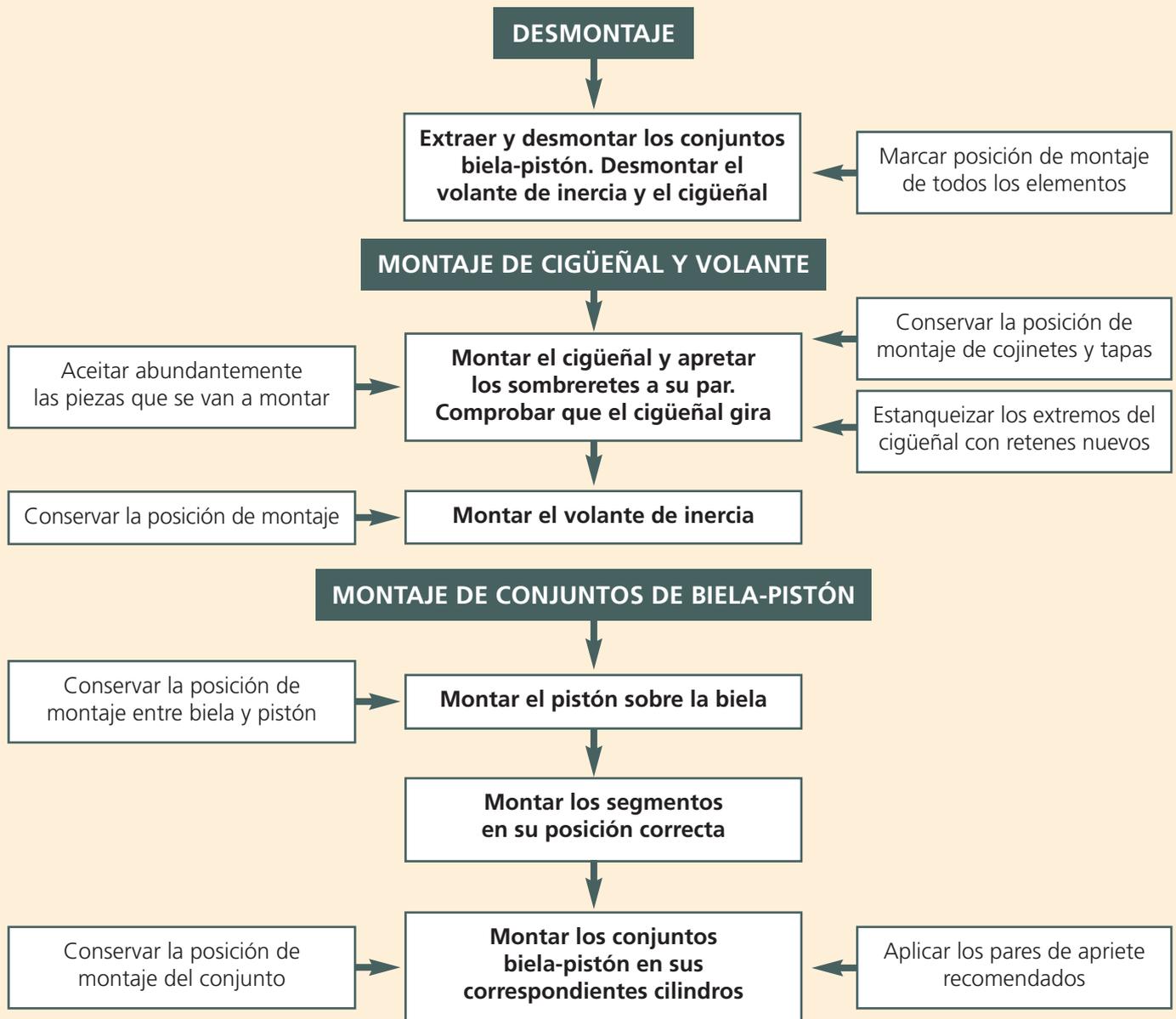
Tras un bruñido previo, bruñido final y pulido se realiza el lapeado al silicio. Para este proceso las piedras de bruñir se sustituyen por tiras de fieltro. El cilindro y las tiras de fieltro se untan con pasta de silicio. No se utiliza aceite para bruñir.

Con esta fase de proceso se obtiene la liberación de los cristales de silicio en el bloque de motor, resultando en una pared de deslizamiento duradera y resistente al desgaste.

El bloque de motor acondicionado de este modo tiene por delante una larga vida útil.

MOTOR SERVICE INTERNACIONAL

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones web puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad:

- http://www.itacr.com/cojinetes_motor.html
- http://www.ms-motor-service.es/ximages/PDF_Kataloge/ko_einbau_es_web.pdf
- <http://www.ms-motor-service.es/content2.asp?area=hauptmenue&site=mssprodukte&cls=05&pcat=5&pID=64>
- http://www.efamoratalaz.com/recursos/RECONSTRUCCION_DE_MOTORES.ppt
- <http://www.reycomotor.com/Reyco/Ksmotor/Taller1.htm>
- http://www.itacr.com/analisis_averias.html
- <http://www.mahle.com/C12570B3006C0D49/CurrentBaseLink/W26MAE7Q320STULES>

14

El sistema de lubricación

vamos a conocer...

1. Lubricación
2. Aceite de motor
3. Sistema de lubricación del motor

PRÁCTICA PROFESIONAL

Circuito de engrase a presión

MUNDO TÉCNICO

Aceites sintéticos vs. convencionales

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la función de la lubricación en el motor.
- Analizarás las características de los aceites lubricantes y su clasificación.
- Conocerás la constitución y funcionamiento del sistema de engrase a presión.

situación de partida

Luis acaba de comprar un vehículo de segunda mano con cuatro años de antigüedad. Dado que desconoce cuándo fue el último mantenimiento del vehículo, decide hacer un cambio de aceite y filtro, pero desconoce qué aceite lleva el coche y no sabe cuál tiene que adquirir. Para averiguarlo consulta el manual de usuario del automóvil donde encuentra que el aceite recomendado es un SAE 5-40 y debe de cumplir las normas ACEA A3/B3, A3/B4, C2 o bien las normas API CI-4.

Luis sabe que la denominación SAE se refiere a la viscosidad y que además se trata de un aceite multigrado pero no conoce nada sobre las normas que se mencionan en el manual, así que acude a una tienda especializada donde le informen adecuadamente.

El encargado de la sección de lubricantes le comenta que tanto ACEA como API son organismos que determinan las normas de calidad que deben cumplir los aceites lubricantes y que se renuevan periódicamente para adaptarse a la tecnología de los nuevos motores.

También le informa de que el coche que ha comprado tiene un motor Diesel de inyección directa turboalimentado con catalizador y EGR, por lo tanto se requiere un lubricante para motores Diesel ligeros de altas prestaciones y que cumpla las limitaciones de emisiones contaminantes, por todo ello es importante que el aceite que le ponga al motor cumpla las normas que indica el fabricante en su manual. Le aconseja que elija una buena marca y que se asegure de que sobre el envase aparece la norma que se exige en su motor.

Además le indica que para este motor también se puede usar un aceite SAE 0-30 totalmente sintético que es más caro pero de mayor calidad y que alarga los periodos de mantenimiento hasta los 30.000 km en lugar de hacerlo a los 15.000 km.

Por último, le comenta que cerca de allí existe un punto limpio donde depositar el aceite usado.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Por qué es necesaria la lubricación en el motor?
2. ¿Consideras que es importante usar un buen aceite en el motor? Razona la respuesta.
3. ¿Cómo se clasifican los aceites para motor?
4. ¿Cómo crees que se debe de tratar el aceite que hemos retirado del motor una vez usado?
5. ¿Qué aceite crees que es de mejor calidad, el mineral o el sintético?



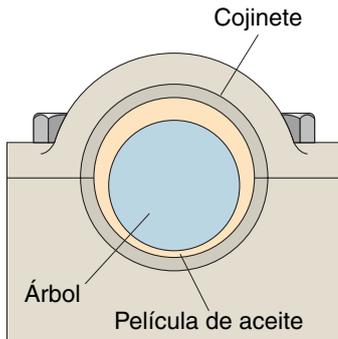
1. Lubricación

El rozamiento entre los órganos móviles del motor origina desgastes, calentamiento y pérdidas de potencia. Entre las superficies que rozan aparece una resistencia que se opone al deslizamiento, cuyo valor está en función de su grado de adherencia y de la presión de contacto.

Esta fuerza resistente absorbe una cantidad de energía mecánica que se transforma en calor. El exceso de calor puede llegar a provocar daños como el gripado o la fundición de las superficies rozantes.

La principal función de la lubricación es evitar, o reducir todo lo posible, el contacto directo entre los metales en movimiento.

La holgura o juego de montaje existente entre dos piezas móviles es ocupado por el aceite de engrase (figura 14.1), que tiene la propiedad de adherirse a las superficies formando una película lubricante. Las superficies de ambas piezas se deslizan sobre el aceite sin contacto entre ellas. El calor originado en esta zona es evacuado a través del aceite que circula continuamente.

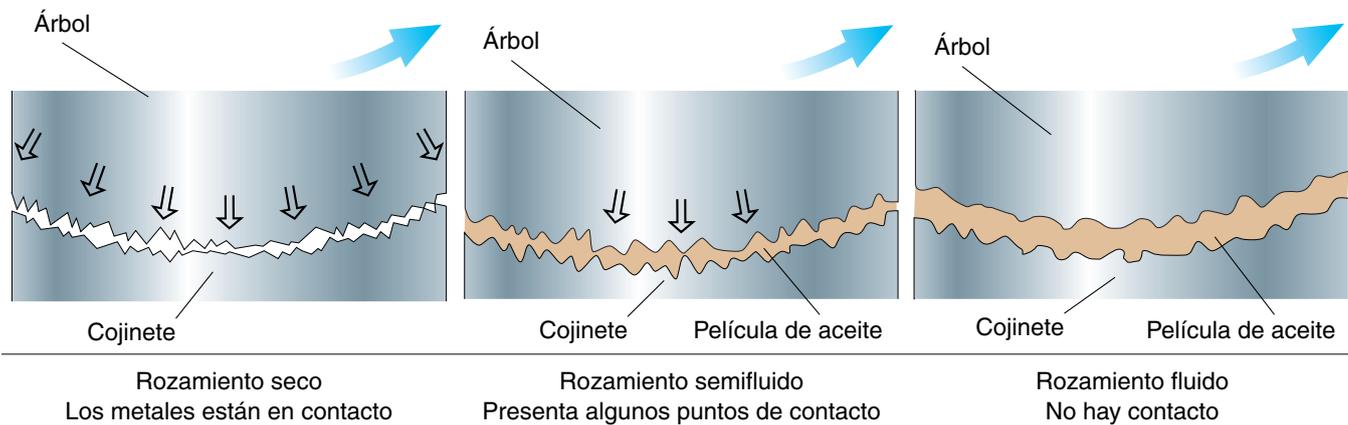


↑ **Figura 14.1.** Película de aceite en un cojinete.

1.1. Tipos de rozamiento

Los efectos que produce el rozamiento se reducen empleando materiales con buenas cualidades de deslizamiento y acabados superficiales adecuados. La existencia o no de una película lubricante entre los elementos en contacto da lugar a tres clases de rozamiento (figura 14.2):

- Rozamiento fluido.
- Rozamiento semifluido.
- Rozamiento seco.



↑ **Figura 14.2.** Clases de rozamiento.

- **El rozamiento fluido** se presenta cuando entre ambas superficies se interpone una película de aceite que las mantiene totalmente separadas. El rozamiento es prácticamente nulo, protegiendo del desgaste y del incremento de temperatura.

Este tipo de rozamiento es el que generalmente se da en los puntos de engrase a presión del motor: apoyos y muñequillas del cigüeñal, apoyos del árbol de levas y eje de balancines.

- **El rozamiento semifluido** se da cuando la película de aceite adherida a las superficies no es lo suficientemente abundante y uniforme, por lo que se produce cierta fricción entre los metales y como consecuencia el desgaste.

Este tipo de rozamiento es el que existe entre el segmento y el cilindro en su parte alta, donde llega poca cantidad de aceite. También se produce en los cojinetes durante el arranque en frío, debido a que, en los primeros momentos, el aceite está muy denso y no hay presión de engrase suficiente.

- **El rozamiento seco** es el que está exento de engrase, los metales de ambas piezas entran en contacto directo y se generan temperaturas elevadas que pueden dar lugar a una dilatación excesiva y al gripado, o bien, el calor superficial que se genera funde los metales.

El rozamiento seco solamente tiene lugar cuando se produce un fallo en el engrase, como consecuencia se pueden llegar a destruir las piezas afectadas.

Por tanto, es necesario una permanente lubricación de las superficies en contacto. Los cojinetes de fricción requieren un suministro continuo de aceite a presión, y los lugares como las paredes de los cilindros o las guías de las válvulas deben estar permanentemente impregnadas de aceite.

1.2. Funciones del aceite de engrase

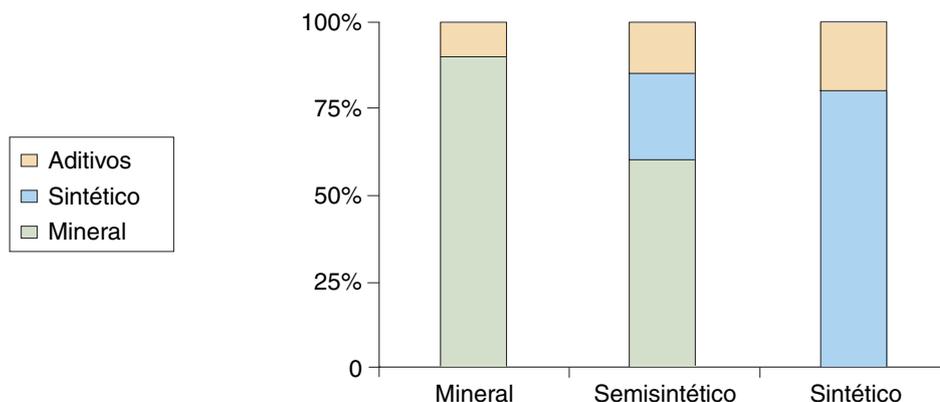
- Reduce el rozamiento y las pérdidas mecánicas al interponerse una película de aceite lubricante entre las superficies en contacto.
- Refrigera las zonas de engrase, ya que el aceite absorbe el calor y lo transporta hasta el cárter donde es enfriado.
- Incrementa la estanqueidad entre los segmentos y el cilindro mejorando la compresión.
- Amortigua y suaviza los esfuerzos a que están sometidos los cojinetes.
- Limpia y transporta las partículas procedentes del desgaste por rozamiento, así como los restos de carbonilla procedentes de la combustión.

2. Aceite de motor

Los lubricantes empleados en el motor están sometidos a altas temperaturas y muy elevadas presiones, en estas condiciones el aceite debe formar una fina película lubricante que se adhiera a las superficies para reducir la fricción.

Otras características que debe poseer el aceite son:

- Mantener la viscosidad en caliente y la suficiente fluidez que facilite el arranque en frío. Proteger de la corrosión las paredes de los cilindros, los cojinetes y demás elementos metálicos. El aceite que pasa a la cámara de combustión debe quemarse sin dejar residuos en bujías, válvulas y segmentos.
- Las cualidades del lubricante deben mantenerse durante largos periodos de funcionamiento del motor. Factores tales como la contaminación con agua, los ácidos corrosivos o el combustible procedente de fugas a través de los segmentos y las altas temperaturas limitan la duración de un aceite. El empleo de aditivos mejora las características de funcionamiento alargando la vida útil de los lubricantes.



↑ **Figura 14.3.** Tipos de aceites lubricantes y su composición.

El aceite motor está compuesto por un aceite base y diferentes aditivos. Actualmente se emplea aceite base de tres tipos: mineral, sintético y semisintético (figura 14.3).

- **El aceite mineral** está compuesto por diversos hidrocarburos de origen mineral. Se obtiene mediante un proceso de refinación del petróleo crudo.
- **El aceite sintético** es un producto químico obtenido por diversos procesos que modifican la estructura molecular de sus componentes y eliminan ciertas partículas minerales no deseables.

Las excelentes cualidades de los aceites sintéticos los hacen apropiados para motores de altas prestaciones sometidos a condiciones de servicio muy severas. Su larga duración permite mayores periodos en el cambio de aceite, lo cual compensa su alto coste.

Las principales ventajas de los aceites sintéticos son:

- Buena fluidez a bajas temperaturas, lo que facilita el arranque en frío.
 - Viscosidad muy estable tanto con altas como con bajas temperaturas, lo que permite un amplio margen de utilización.
 - Alta resistencia a la oxidación con elevadas temperaturas, alargando su vida útil.
 - Reduce la fricción causando menores pérdidas de energía y menos desgastes.
 - Tiene buenas cualidades detergentes y dispersantes, además de baja tendencia a la formación de depósitos.
- **El aceite semisintético** está compuesto por una base de aceite mineral al cual se le añade aceite sintético en un determinado porcentaje. Con este aceite se mejoran en gran medida las cualidades del aceite mineral.

2.1. Aditivos para el aceite

Los aditivos son compuestos químicos añadidos que mejoran la calidad de los aceites minerales puros. Algunos de los más importantes son los siguientes:

- **Los antioxidantes.** Reducen la tendencia del aceite a degradarse por oxidación al contacto con el aire.
- **Los anticorrosivos.** Neutralizan los ácidos que se forman en el interior del motor a altas temperaturas y que atacan a las piezas metálicas en contacto con el aceite.
- **Los detergentes.** Limpian los conductos y las superficies evitando la formación de depósitos sólidos de lodos y barnices.

caso práctico inicial

Los aceites sintéticos son mas caros pero alargan los periodos de mantenimiento.

- **Los dispersantes.** Evitan la aglomeración de las partículas y residuos que han sido arrastrados hasta el cárter y los mantienen en suspensión hasta el cambio de aceite.

También se añaden otro tipo de aditivos cuya finalidad es la de estabilizar el comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de temperatura, y otros que aumentan la resistencia a las altas presiones y mejoran la adherencia manteniendo durante más tiempo sus cualidades lubricantes. Los aceites para Diesel contienen aditivos detergentes que neutralizan los efectos del azufre que contiene el combustible.

El conjunto de aditivos que contiene un aceite define sus características de utilización y de viscosidad.

2.2. Viscosidad

La viscosidad es una de las características más importantes de los aceites lubricantes y se puede definir como la oposición de un líquido a fluir debido al rozamiento interno de sus propias moléculas (no debe confundirse este concepto con el de densidad, que relaciona la masa con el volumen).

La resistencia de la película de aceite que se interpone entre las superficies rozantes varía con la viscosidad. Un aceite muy viscoso formará una capa lubricante capaz de soportar elevadas presiones, sin embargo, circulará con dificultad hasta los puntos de engrase. Por el contrario, un aceite fluido circula bien por los conductos, pero la película lubricante es menos resistente.

Los cambios de temperatura afectan notablemente al estado de fluidez del aceite. Así un aceite presenta una viscosidad alta con bajas temperaturas y se vuelve fluido cuando se calienta.

La temperatura del aceite en el cárter del motor puede encontrarse por debajo de los 0 °C en el momento del arranque, hasta los 80° o 90 °C, cuando el motor funciona a su temperatura de régimen. En estas condiciones el aceite debe mantener sus características lubricantes, por tanto, un aceite será de mejor calidad cuanto más estable sea su viscosidad frente a los cambios de temperatura.

2.3. Clasificación de los aceites

Los aceites lubricantes se pueden clasificar atendiendo a dos aspectos diferentes:

- Por la viscosidad.
- Por las condiciones de servicio.

Ambas clasificaciones se complementan ya que se basan en características diferentes, pero las dos se deben considerar a la hora de elegir un determinado tipo de aceite.

Clasificación por viscosidad

El sistema más generalizado internacionalmente es la clasificación SAE (Society of Automotive Engineers, «Sociedad Norteamericana de Ingenieros del Automóvil»).

La clasificación SAE relaciona la viscosidad con la temperatura de uso de un aceite, pero no indica nada sobre su calidad. Los diferentes grados SAE están basados en la viscosidad del aceite medida a 18 °C y a 100 °C

Los seis primeros grados, de 0 a 25, van acompañados de la letra W, inicial de *winter* (invierno). Estos grados indican la temperatura mínima a la que puede utilizarse dicho aceite conservando una viscosidad que le permita fluir por los conductos a la presión adecuada, de tal forma que llegue con rapidez a los puntos de engrase para facilitar el arranque en frío.

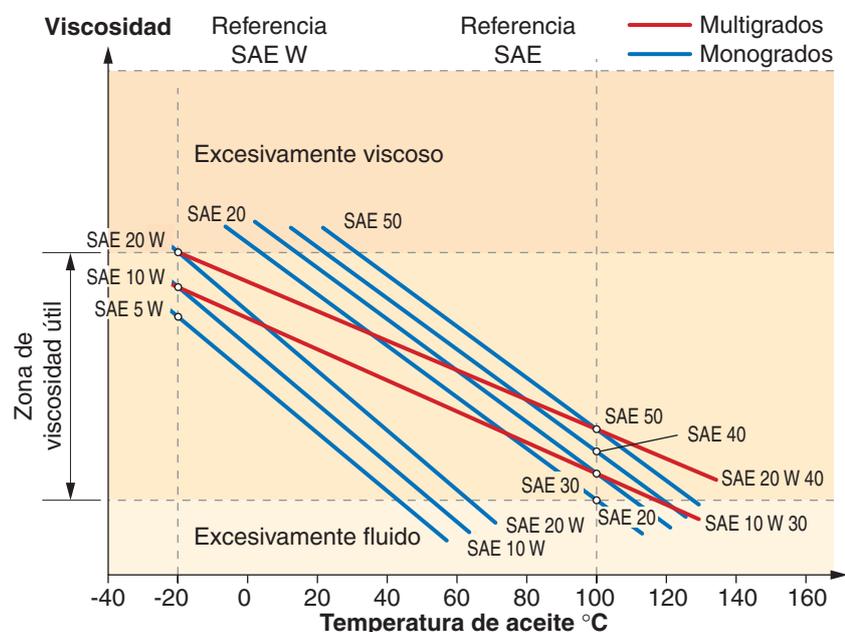
La escala de cinco unidades, de 20 a 60, indica el comportamiento de la viscosidad del aceite en caliente, medida a una temperatura de 100 °C.

CLASIFICACIÓN DE LA VISCOSIDAD SAE			
	Grados SAE	Temperatura mínima de utilización	Viscosidad dinámica (cSt) a 100 °C
Viscosidad a baja temperatura	0 W	- 30 °C	3,8
	5 W	- 25 °C	3,8
	10 W	- 20 °C	4,1
	15 W	- 15 °C	5,6
	20 W	- 10 °C	5,6
	25 W	- 5 °C	9,3
Viscosidad a alta temperatura	20		5,6 - 9,3 / Fluido
	30		9,3 - 12,5 / Semifluido
	40		12,5 - 6,3 / Semiviscoso
	50		16,3 -21,9 / Viscoso
	60		21,9 - 26,1 / Muy viscoso

Aceites monogrado y multigrado

Los **aceites monogrado** se designan con un solo número o grado de viscosidad, que indica los márgenes de temperatura dentro de los cuales dicho aceite tiene un buen comportamiento. Este tipo de aceite es adecuado para zonas donde la temperatura ambiente no sufre cambios importantes, de lo contrario sería obligado usar diferente graduación en invierno y en verano. Por ejemplo, un SAE 10 W y un SAE 40, respectivamente.

Los **aceites multigrado** (figura 14.4) tienen un margen más amplio de utilización, debido al uso de aditivos que logran mantener más estable la viscosidad frente a los cambios de temperatura.



↑ **Figura 14.4.** Viscosidad en función de la temperatura para aceites monogrados y multigrados.

Los aceites multigrado se identifican con dos diferentes grados de viscosidad que corresponden al comportamiento del aceite en frío y en caliente. Por ejemplo, en una zona donde la temperatura ambiente oscile entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, sería adecuado utilizar un SAE 20 W-40, ya que en frío se comporta como un SAE 20W, manteniendo la fluidez necesaria durante el arranque, y en caliente, con temperaturas en el cárter entre 60° y $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiene un comportamiento como SAE 40, evitando que se fluidifique en exceso.

Si la temperatura en verano pasa de los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en invierno puede llegar a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, sería recomendable un SAE 15 W-50, y para zonas muy frías se podría usar un SAE 5 W-30.

Clasificación según las condiciones de servicio

Las diferentes calidades se clasifican sometiendo el aceite a determinados ensayos en laboratorio y mediante pruebas sobre los propios motores, en banco o durante el servicio.

En estas pruebas se valoran aspectos tales como la resistencia a la oxidación a altas temperaturas, el control de la formación de depósitos, una viscosidad estable, la fluidez a bajas temperaturas y el control de emisiones contaminantes.

Los organismos que determinan y clasifican la calidad de los aceites lubricantes son **API**, en Estados Unidos, y **ACEA**, en Europa. Además existen otros organismos como el ejército o las marcas de automóviles que desarrollan sus propias categorías y calidades exigidos a los aceites.

Los niveles de calidad se renuevan periódicamente con el fin de cubrir las necesidades de funcionamiento de los nuevos motores y cumplir con las últimas normas antipolución.

Sobre el envase del aceite se especifica el grado de viscosidad SAE y la clasificación de servicio API y ACEA.

Clasificación API

La clasificación API (American Petroleum Institute) es usada por la práctica totalidad de los fabricantes de aceites.

Las categorías API están basadas en las características de funcionamiento y el tipo de servicio a que está destinado el motor. Se dividen en dos series:

- La **serie S**, para motores **Otto**.
- La **serie C**, para motores **Diesel**.

En muchos casos un mismo aceite cumple las especificaciones de ambas series.

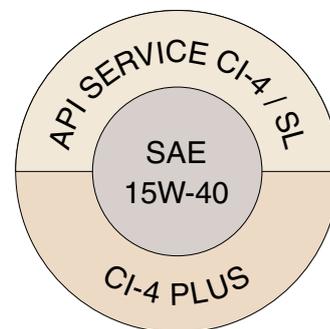
Categorías API para motores Otto

Las categorías **SA**, **SB**, **SC** (1967), **SD** (1971), **SE** (1979), **SF** (1988), **SG** (1993), **SH** (1996), han quedado obsoletas actualmente. Las categorías vigentes son: **SJ** (1997), **SL** (2001) y **SM** (2004).

Estas categorías han sido desarrolladas a lo largo de los años, de forma que cada nueva categoría supera en calidad a las anteriores. Entre paréntesis se indica el año en que se validó cada una de ellas, pudiéndose utilizar en motores de la misma edad o anteriores. La más reciente puede sustituir a cualquiera de las anteriores.

caso práctico inicial

Los organismos que determinan la calidad de los lubricantes son ACEA en Europa y API en Norteamérica.



↑ **Figura 14.5.** Distintivo indicador de las categorías API.



Por ejemplo, si en el manual de un vehículo se recomienda aceite API SH o SJ podrá ser sustituido por un API SL, ya que este ha superado unos controles más rigurosos.

Categorías API para motores Diesel

Las categorías **CA, CB, CC, CD, CE** están obsoletas actualmente.

Categorías vigentes: **CF, CF-2, CF-4, CG-4, CH-4, CI-4**.

Cada una de ellas responde a las características particulares de funcionamiento de los diferentes tipos de motores Diesel: atmosféricos, turboalimentados, de inyección directa o indirecta, de dos o cuatro tiempos, etc.

Es aconsejable consultar las recomendaciones del fabricante del vehículo para elegir el aceite más adecuado al tipo de motor.

CARACTERÍSTICAS DE UTILIZACIÓN DE LAS CATEGORÍAS API PARA DIESEL

Categoría	Año	Servicio
CF	1994	Para Diesel de inyección indirecta. Es apto para motores que usan combustible con un contenido mayor de 0,5 % de azufre
CF-2	1994	Para Diesel de dos tiempos sometidos a un servicio severo
CF-4	1990	Para Diesel de cuatro tiempos que alcanzan elevadas revoluciones, ya sea atmosférico o sobrealimentado
CG-4	1995	Para Diesel de servicio severo que giran a elevadas revoluciones. Es apto para motores que cumplen las normas antipolución acordadas en 1994. Sustituye a las categorías CD, CE y CF
CH-4	1998	Para Diesel de cuatro tiempos de alta velocidad, cumple con las últimas normas sobre emisión de gases. Es apropiado para combustible con menos de 0,5 % de contenido de azufre. Se puede usar en lugar de las categorías CD, CE, CF-4 y CG-4
CI-4	2002	Para Diesel de alta velocidad equipados con válvula EGR. Cumple con las normas antipolución acordadas en el 2002. Comparada con CH4 mejora la protección contra la oxidación, reducción de desgastes y estabilidad de la viscosidad
CJ-4	2007	Para Diesel de 4 tiempos que cumplan las limitaciones de emisiones acordadas en el 2007. Especifico para Diesel con filtro de partículas. Mejora la estabilidad de la viscosidad y reduce el desgaste del motor y la formación de depósitos

Clasificación ACEA

ACEA es la Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles), fue constituida en 1996 y sustituye al ya desaparecido organismo **CCMC** (The Committee of Common Market Constructors).

En principio, los estándares ACEA se clasificaron en tres grupos: A, para motores de gasolina, B para Diesel ligeros y E para Diesel pesados. A partir del año 2004 desaparecen los aceites dirigidos específicamente a los motores de gasolina o Diesel y se definen especificaciones conjuntamente para ambos tipos de motor (categorías A y B).

Se incorpora la nueva categoría C destinada a proteger los sistemas de tratamientos de gases de escape (de gasolina o Diesel) que incluyen a los más nuevos catalizadores de tres vías (TWC) y a los filtros de partículas diesel (DPF). Cumplen la normativa Euro 4

Clase A / B. Para motores gasolina y Diesel en vehículos de turismo (ligeros).

Clase C. Lubricantes compatibles con sistemas de tratamiento de gases de escape. Motores gasolina y Diesel en vehículos de turismo (ligeros).

Dispositivos antipolución para motores Diesel	
EGR	Recirculación de Gases de Escape
SCR	Reducción Catalítica Selectiva
DPF	Filtro de Partículas Diesel

Clase E. Motores Diesel de vehículos comerciales, maquinaria de obras públicas y agricultura (pesados).

Cada grupo se divide en varias categorías. La letra de cada grupo va acompañada de un número y el año de renovación de la categoría. El último año de cada categoría sustituye a la de años anteriores. Por ejemplo, en un motor en el que se recomienda un aceite de categoría B4-98, puede usarse un A4/B4-08.

Debido a que algunos de estos aceites pueden no ser aptos para usarlos en determinados motores, se debe consultar el tipo de aceite que recomienda el fabricante.

CATEGORÍAS ACEA PARA MOTORES DE GASOLINA Y DIESEL LIGEROS

A1/B1-08	Para motores de gasolina o Diesel ligeros diseñados para utilizar aceites de baja fricción y baja viscosidad
A3/B3-08	Aceites de viscosidad muy estable para motores de altas prestaciones y con intervalo de funcionamiento extendido
A3/B4-08	Aceites de alta estabilidad destinados a motores de gasolina de altas prestaciones o Diesel de inyección directa ligeros
A5/B5-08	Aceite para motores de altas prestaciones con viscosidad muy estable y reducida fricción, preparado para aceites de baja viscosidad con mantenimiento extendido

La especificación A2/B2 está obsoleta.

MOTORES DE GASOLINA Y DIESEL LIGEROS CON TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE

C1-08	Lubricante de alta estabilidad y baja fricción, con bajos contenidos en azufre, cenizas y fósforo compatible con filtros de partículas Diesel y catalizador de tres vías
C2-08	Lubricante de alta estabilidad compatible con filtro de partículas Diesel y catalizador de tres vías, para motores gasolina y Diesel de altas prestaciones
C3-08	Lubricante de alta estabilidad, para motores de gasolina y Diesel ligeros de altas prestaciones. Aumentan la vida de filtros de partículas y catalizadores de tres vías
C4-08	Lubricante con características mejoradas respecto a C3. Muy bajo contenido en azufre, fósforo y cenizas sulfatadas. Compatible con filtro de partículas Diesel y catalizador de tres vías

CATEGORÍAS ACEA PARA MOTORES DIESEL PESADOS

E2-08	Lubricantes de calidad estándar
E7-08	Sustituye y mejora a las antiguas ACEA E3 y E5. Son lubricantes indicados para servicios severos y periodos de cambio de aceite largos. Son compatibles con algunos sistemas de postratamiento EGR y SCR, y no son compatibles con filtros de partículas Diesel
E4-08	Lubricantes para aplicaciones extremadamente severas, con intervalos de cambio de aceite muy prolongados, son compatibles con algunos sistemas de postratamiento EGR y SCR, y no son compatibles con filtros de partículas Diesel DPF. Apropiado para motores Euro 2, Euro 3 y Euro 4
E6-08	Lubricantes de muy altas prestaciones con intervalos de cambio de aceite muy prolongados, compatibles con todos los sistemas de postratamiento EGR y SCR, especialmente recomendado para motores Euro 4 y Euro 5 con filtro de partículas DPF
E9-08	Es apropiado para motores equipados con o sin filtro de partículas, y para la mayoría de motores equipados con sistema EGR o con sistema SCR. Los lubricantes ACEA E9 están recomendados para los motores equipados con filtro de partículas y han sido diseñados para aplicarse en combinación con el uso de gasóleos de bajo contenido en azufre

Debido a que algunos de estos aceites pueden no ser aptos para usarlos en determinados motores, se debe consultar el tipo de aceite que recomienda el fabricante.



Otras especificaciones

La organización denominada **ILSAC** (Comité Internacional de Aprobación y Normalización de los Lubricantes), está integrada por Daimler Chrysler, Ford Motor Company, General Motors y la Asociación Japonesa de Fabricantes de Automóviles. Ha desarrollado las normas **ILSAC Gf - 3** muy similar a las API - SL y la **Gf - 4** equivalente a la API - SM.

Otros fabricantes también han desarrollado especificaciones para sus propios motores, en vehículos ligeros las más destacables son: Mercedes Benz (MB) y Volkswagen (VW). Para vehículos pesados: Volvo (VDS), Renault VI (RVI), Man o Caterpillar.

3. Sistema de lubricación del motor

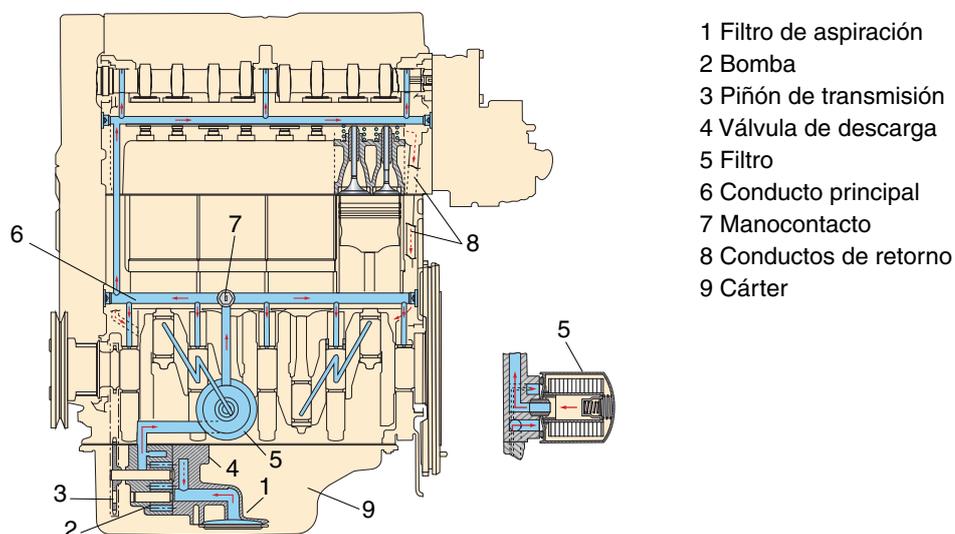
Tiene la misión de suministrar el aceite a las superficies que han de lubricarse, para ello se emplean actualmente dos sistemas diferentes:

- **Engrase a presión**, utilizado de forma general en la mayoría de los motores.
- **Engrase por mezcla con el combustible**, utilizado en motores de dos tiempos de pequeña cilindrada.

3.1. Engrase a presión

El sistema de engrase suministra un caudal de aceite que circula por las canalizaciones practicadas en el bloque y en la culata (figura 14.6). El aceite a presión lubrica los cojinetes de fricción, rebosa y cae al cárter. El aceite de rebose es utilizado para lubricar el resto de los elementos ya que por las propiedades adherentes del aceite impregna todas las superficies.

El aceite se almacena en el cárter inferior del motor (9) y es aspirado por la bomba (2) a través de un filtro previo (1) sumergido en el aceite. La bomba impulsa el aceite que atraviesa el filtro (5) donde se separan las impurezas y después pasa a la canalización principal (6) situada sobre el bloque motor. Desde aquí se distribuye a todos los puntos que se engrasan a presión, el aceite que rebosa, se desliza de nuevo hasta el cárter.



↑ **Figura 14.6.** Circuito de engrase a presión.

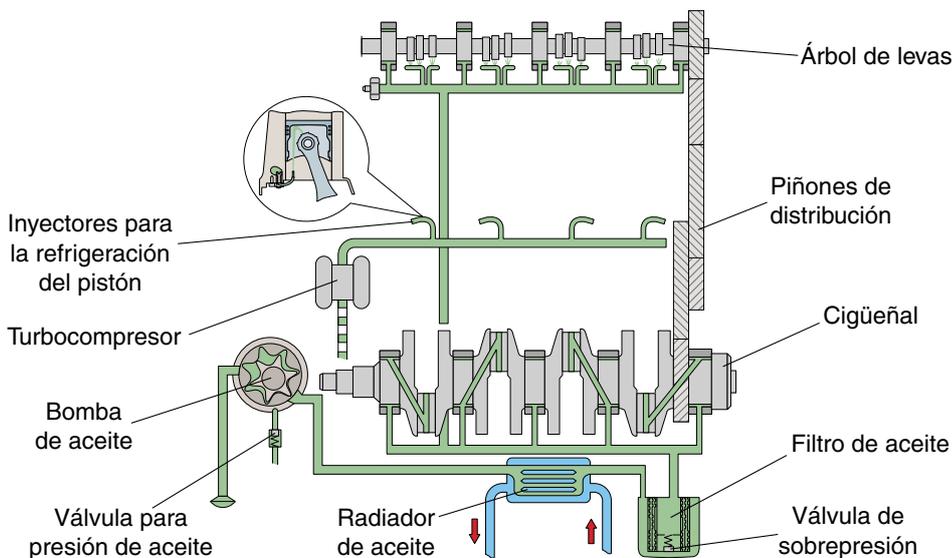
A la salida de la bomba se dispone la válvula de descarga (4) cuya misión es limitar la presión máxima de engrase.

Elementos que se engrasan a presión

- Apoyos y muñequillas de cigüeñal.
- Apoyos del árbol de levas.
- Eje de balancines.
- Pie de biela y bulón (solo en algunos motores).

La canalización principal está comunicada con cada uno de los **apoyos de bancada** (figura 14.7), desde aquí el aceite pasa a las muñequillas, a través de los conductos practicados en el interior del cigüeñal, para lubricar los **cojinetes de cabeza de biela**.

En caso de pie de biela engrasado a presión, se practica una canalización por el interior del cuerpo de la biela, desde la cabeza de biela hasta el casquillo, que asegura la lubricación de la articulación con el bulón.



↑ **Figura 14.7.** Circuito de engrase con refrigerador de aceite y lubricación del turbocompresor.

Desde la canalización principal asciende un conducto hasta la culata que comunica con los **apoyos del árbol de levas** y con el **árbol de balancines**, este árbol es hueco y permite al aceite circular por su interior, dispone de orificios que lubrican el movimiento de cada uno de los balancines.

Además se lubrica el turbocompresor en motores sobrealimentados.

La presión de engrase se utiliza, además, para alimentar de aceite a los taqués hidráulicos (14-figura 14.10) y para accionar el tensor de la cadena de distribución (11-figura 14.10).

El sistema de engrase a presión dispone de un avisador luminoso en el tablero de instrumentos que indica la falta de presión en el circuito y, en ocasiones, un indicador del nivel de aceite en el cárter. Algunos motores montan además un manómetro de presión y un indicador de temperatura del aceite.



Engrase por impregnación

El rebose del aceite, principalmente de las piezas en movimiento, dispersa el aceite creando una neblina que impregna todos los elementos internos del motor. La untuosidad es la propiedad que le permite al aceite mantenerse adherido a las superficies.

Se engrasan por impregnación los siguientes elementos:

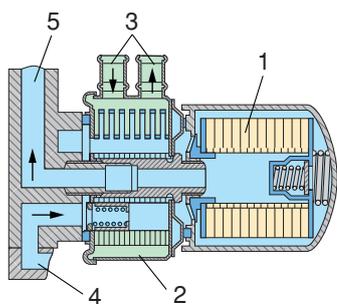
- Cilindros.
- Bulón y pie de biela.
- Guías de válvulas y taqués.
- Cadena o piñones de la distribución.
- Cualquier otro elemento interno del motor.

El aceite que se deposita en las **paredes de los cilindros** es arrastrado por los segmentos para evitar que llegue a la cámara de combustión. El segmento rascador o de engrase va provisto de orificios, igual que su alojamiento en el pistón. Tiene la misión de evacuar el aceite por el interior del pistón; parte de este aceite se emplea para lubricar **el bulón**.

El conjunto de **balancines, taqués y válvulas** se engrasa con el aceite que rebose del árbol de balancines, o del árbol de levas cuando este va colocado en la culata.

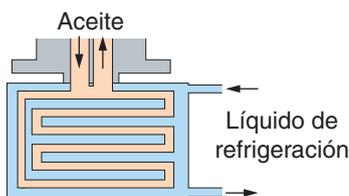
Hasta el cárter de distribución también llega el aceite de engrase, siempre que la transmisión se haga por cadena o por piñones, para ello se disponen orificios de entrada y de drenaje de aceite. **Los piñones y la cadena de la distribución** quedan impregnados cuando giran.

Para evitar fugas de aceite, todas las uniones que comunican con el exterior van provistas de juntas de estanqueidad o retenes.



- 1 Cartucho filtrante
- 2 Intercambiador
- 3 Entrada y salida de líquido de refrigeración
- 4 Entrada de aceite
- 5 Salida de aceite hacia la canalización principal

↑ **Figura 14.8.** Intercambiador agua-aceite junto al filtro.



↑ **Figura 14.9.** Intercambiador agua-aceite.

3.2. Refrigeración del aceite de engrase

La función refrigeradora del aceite de engrase cobra gran importancia en los motores actuales, en los cuales se producen altas temperaturas.

El aceite se refrigera en el cárter con el viento de la marcha. Esta función puede ser mejorada con cárteres de aluminio dotados de aletas de refrigeración que evacuan mejor el calor. Sin embargo, en motores con elevadas solicitaciones el aceite tiende a calentarse en exceso, por lo que disminuye su poder refrigerante y su capacidad de lubricación, ya que se vuelve muy fluido. En estos casos es necesario disponer de refrigeradores de aceite.

Refrigeradores de aceite

El aceite se refrigera mediante intercambiadores de calor que pueden ser de dos tipos:

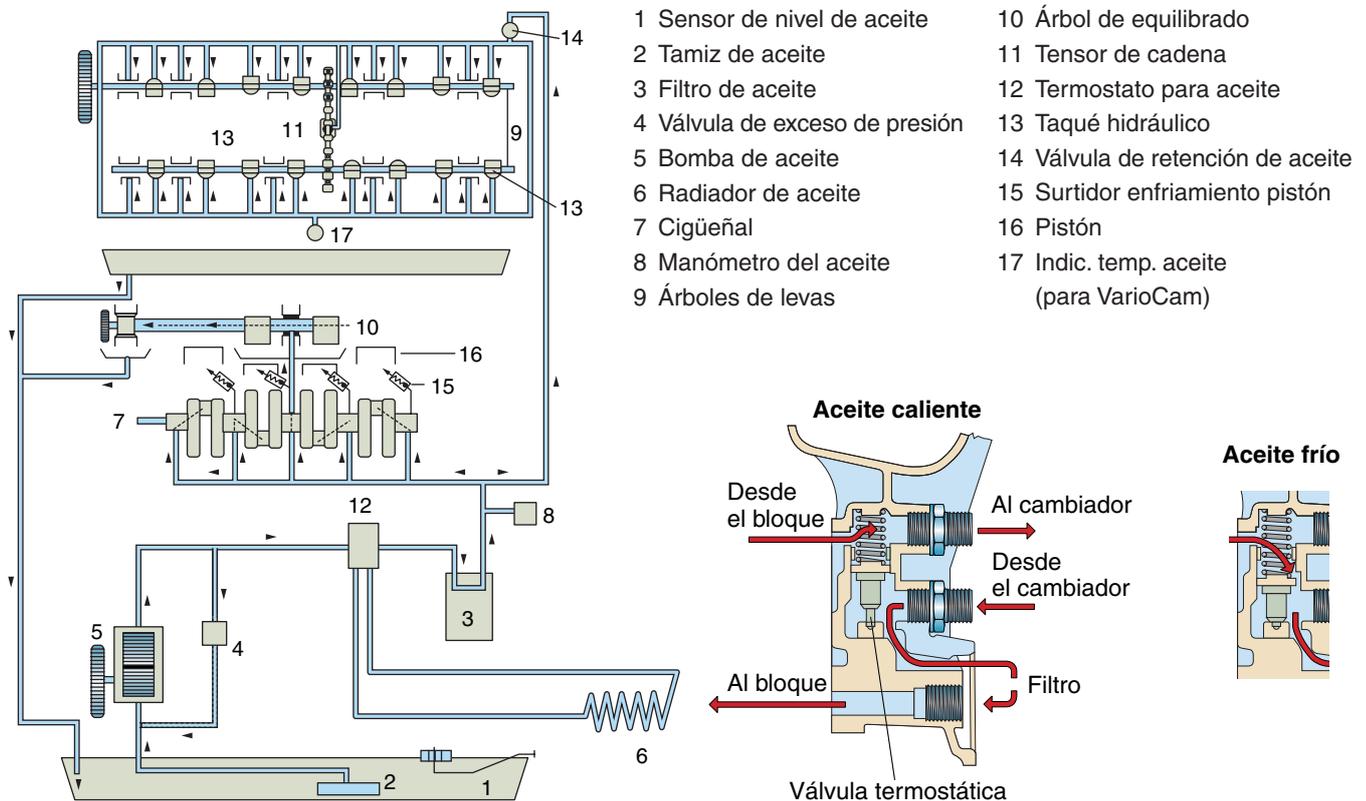
- Intercambiador agua-aceite.
- Intercambiador aire-aceite.
- **El intercambiador agua-aceite** está constituido por dos cámaras independientes separadas por una fina pared de forma que puede transmitirse el calor entre ellas. Por una de las cámaras se hace circular el aceite de engrase y por la otra el líquido de refrigeración (figura 14.9). El dispositivo se coloca en la entrada del filtro (figura 14.7), el aceite procedente del cárter pasa por el intercambiador, luego por el filtro y finalmente es enviado a engrasar.

El intercambio se produce tanto con el motor frío como caliente, dado que el líquido de refrigeración se calienta con más rapidez, el agua cede calor al aceite. Una vez alcanzada la temperatura de régimen, es el aceite el que cede calor al agua.

Este sistema tiene la ventaja de que se alcanza más rápidamente la temperatura de funcionamiento (entre 70° y 90 °C), mejorando la fluidez, y mantiene la temperatura del aceite estable.

- El **intercambiador aire-aceite** (6-figura 14.10) consiste en un radiador por el que circula el aceite de engrase, de modo que el aire de la marcha y del ventilador refrigeran el aceite.

El paso del aceite hacia el radiador está controlado por una válvula termostática (figura 14.11), que solo abre cuando el motor está caliente, y regula la cantidad de aceite que pasa al radiador en función de la temperatura de este.



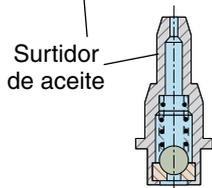
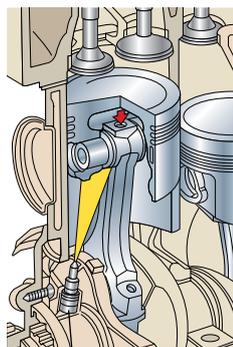
↑ **Figura 14.10.** Esquema del circuito de engrase.

↑ **Figura 14.11.** Desviador termostático del intercambiador aire-aceite.

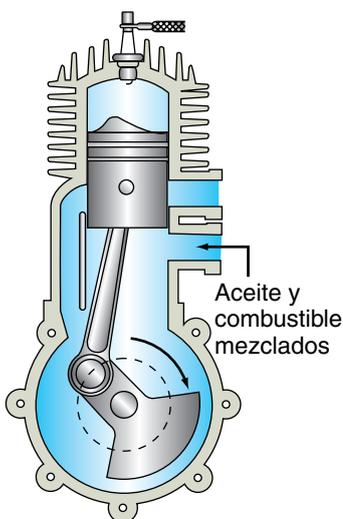
Refrigeración de los pistones

En motores de alto rendimiento o en los Diesel de inyección directa, cuya cámara de combustión va practicada en el pistón, necesitan una refrigeración adicional en esta zona. Para ello, se disponen unos surtidores en la parte inferior del cilindro (figura 14.12) que reciben el aceite de la canalización principal y dirigen un chorro continuo hacia el fondo del pistón por su parte interior.

Con este sistema se rebaja la temperatura de la cabeza del pistón.



↑ **Figura 14.12.** Surtidor de aceite para refrigeración del pistón.



↑ **Figura 14.13.** Engrase por mezcla.

3.3. Engrase por mezcla

El aceite lubricante se mezcla con el combustible en una proporción entre el 2 % y el 4 %. Este sistema solamente es aplicable en motores de dos tiempos en los que el combustible mezclado con el aceite debe pasar por el cárter del cigüeñal antes de ser admitido en el cilindro (figura 14.13).

El aceite, que es más pesado, se queda adherido en los elementos que encuentra a su paso: cilindro, cigüeñal, cabeza y pie de biela. Parte del aceite pasa a la cámara de combustión donde lubrica la zona superior del cilindro y el resto se quema junto con el combustible.

La combustión de estos aceites debe ser limpia, sin dejar residuos sólidos en bujías, segmentos, lumbreras o en el conducto de escape.

Tanto los apoyos del cigüeñal como las muñequillas de biela giran sobre rodamientos, ya que estos no necesitan engrase a presión.

El aceite puede mezclarse con el combustible en el mismo depósito, aunque actualmente estos motores vienen provistos de un dispositivo mezclador que automáticamente suministra la proporción de aceite adecuada en función del régimen de revoluciones y de la carga del motor.

3.4. Elementos del circuito de engrase a presión

El circuito de engrase a presión contiene los siguientes elementos: cárter, válvula de descarga, manocontacto, bomba de aceite y filtro.

Cárter

Está situado en la parte inferior del motor, constituye el depósito de aceite y además sirve como refrigerador ya que queda expuesto al viento de la marcha. Se fabrica generalmente en chapa de poco grosor y, cuando se necesita evacuar más cantidad de calor, se construye de aluminio con aletas de refrigeración. Incorpora un tapón de vaciado y una varilla para el control de nivel.

Interiormente se disponen tabiques (figura 14.6) para contener el movimiento del aceite en maniobras bruscas como acelerones, frenazos o curvas muy pronunciadas, que podrían dejar temporalmente sin suministro a la bomba.

En algunos vehículos todoterreno y coches deportivos, donde estos fenómenos son más acusados, se usa el sistema de **cárter seco**. En este sistema, el aceite es recogido del cárter por una bomba auxiliar y llevado hasta un depósito especialmente acondicionado para asegurar la alimentación de aceite, a pesar de los grandes ángulos de inclinación que pueden tomar los vehículos todoterreno, o las aceleraciones longitudinales y transversales a que están sometidos los coches deportivos.

Bomba de aceite

Es la encargada de crear la presión y el caudal necesario para asegurar el suministro de aceite a los puntos de engrase. Recibe movimiento del cigüeñal o desde el árbol de levas cuando este va situado en el bloque.

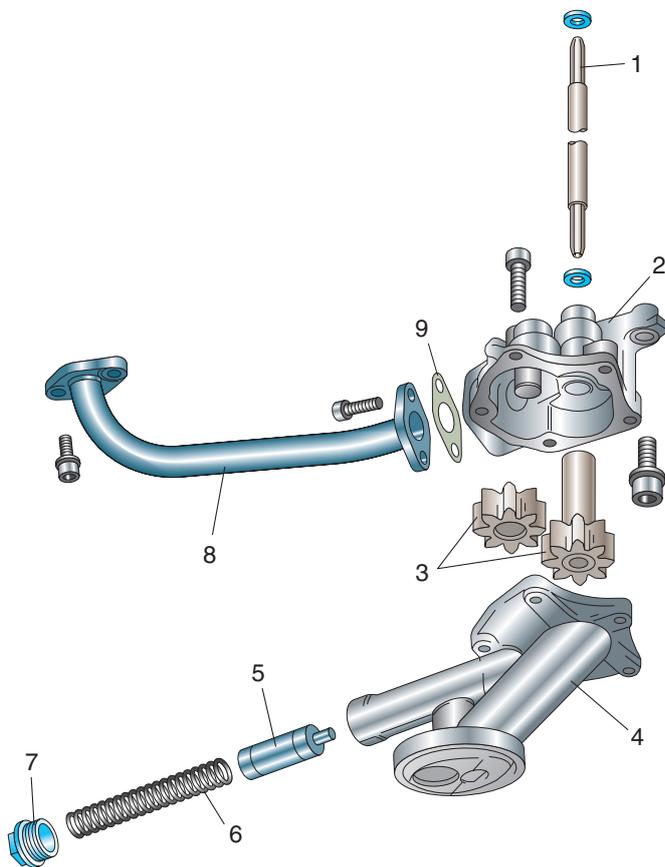
La bomba incorpora además el filtro de aspiración y la válvula de descarga.

Los tipos de bomba más comúnmente utilizados son los siguientes:

- Bomba de engranajes.
- Bomba de rotores.
- Bomba de engranajes interiores o de hoz.

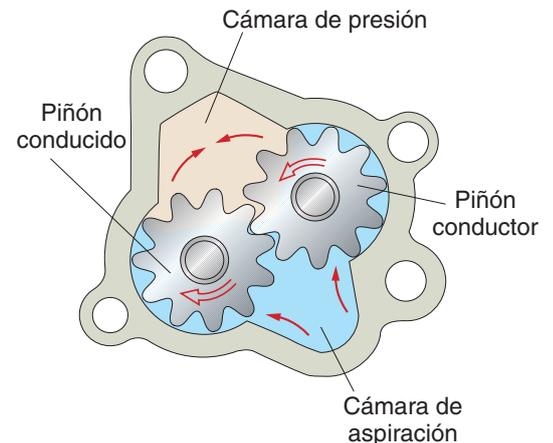
Bomba de engranajes

Está formada (figura 14.14) por dos piñones que engranan entre sí. El piñón conductor recibe movimiento del motor a través de su eje y se lo transmite al piñón conducido. Ambos piñones están alojados dentro de la carcasa (figura 14.15) cuya forma interior se ajusta al contorno de los piñones y forma dos cámaras separadas, una de aspiración que comunica con el cárter, y otra de presión, comunicada con la canalización principal.



↑ Figura 14.14. Despiece de la bomba de engranajes.

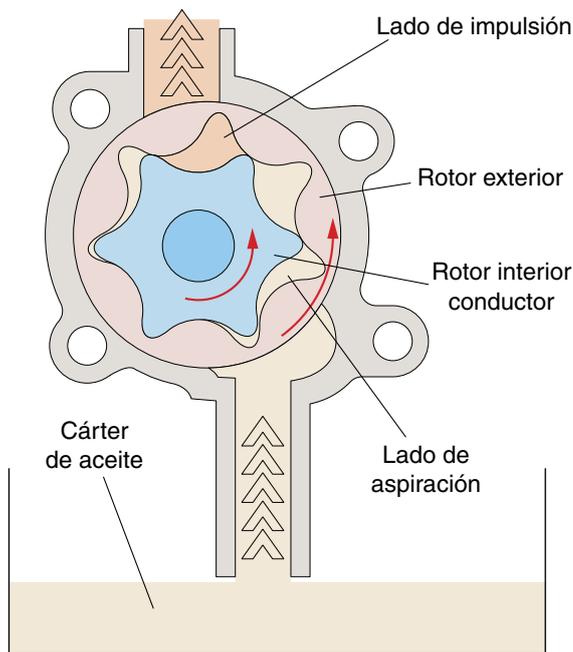
- 1 Árbol de impulsión
- 2 Caja de la bomba de aceite
- 3 Ruedas dentadas de la bomba de aceite
- 4 Tapa de la bomba de aceite con válvula de descarga
- 5 Émbolo
- 6 Muelle
- 7 Tornillo
- 8 Tubo de aceite a presión
- 9 Junta



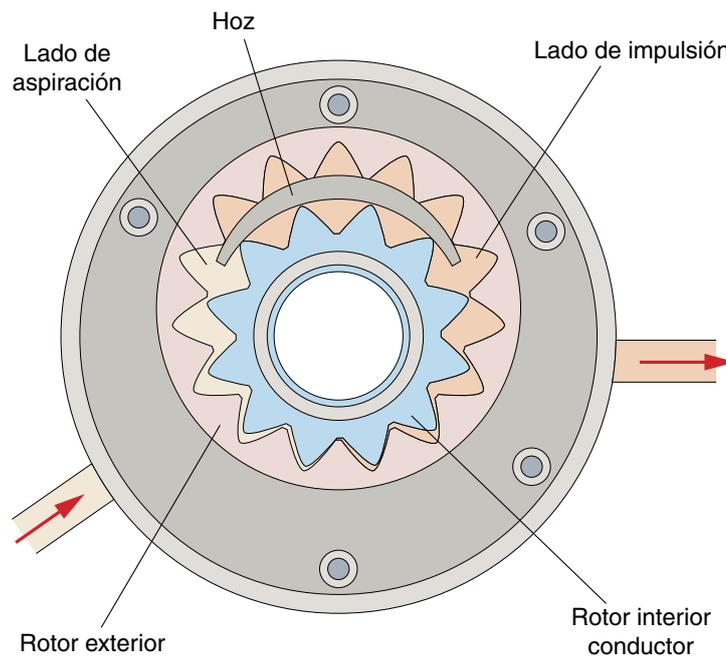
↑ Figura 14.15. Funcionamiento de la bomba de engranajes.

El funcionamiento es el siguiente: los dos piñones giran en sentido contrario, de manera que transportan el aceite en los espacios formados entre los dientes y las paredes de la carcasa, esto crea una depresión en la cámara de aspiración que absorbe el aceite del cárter. La acumulación de aceite en la cámara de salida origina la presión de engrase.

La bomba de engranajes tiene una constitución sencilla, pero cuenta con el inconveniente de que a bajas revoluciones tiene poco poder de aspiración.



↑ Figura 14.16. Bomba de rotores.



↑ Figura 14.17. Bomba de hoz.

Bomba de rotores

Esta bomba está constituida (figura 14.16) por un rotor interior y otro exterior que giran en el mismo sentido. El rotor central es el conductor y recibe movimiento a través de su eje. El rotor conducido está formado por lóbulos en su interior y gira ajustado con el cuerpo de la bomba. El rotor interior tiene un diente menos que el exterior dando lugar a la formación de dos cámaras, una de aspiración y otra de presión.

El giro de los rotores hace que la cámara del lado de aspiración aumente progresivamente su volumen absorbiendo el aceite del cárter. En la cámara de expulsión el espacio disminuye y el aceite es impulsado a presión hacia las canalizaciones de engrase. La principal característica de esta bomba es su capacidad para generar altas presiones.

Bomba de engranajes interiores

También llamada **bomba de hoz** (figura 14.17) por la forma que presenta el espacio que queda entre los dos engranajes excéntricos. Se instala en el extremo del cigüeñal que da movimiento directamente al rotor interior, el cual engrana con el rotor exterior.

El funcionamiento es similar al de la bomba de engranajes, el aceite es transportado en el espacio que se forma entre los dientes y el tabique que forma la hoz por sus dos lados, desde la cámara de aspiración hasta la de presión. Este tipo de bomba tiene la ventaja de suministrar un buen caudal de aceite desde un bajo número de revoluciones.

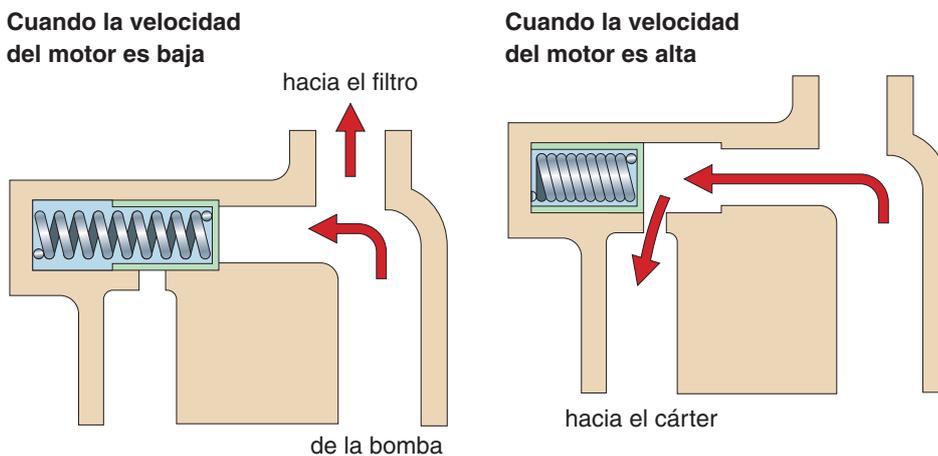
Válvula de descarga

El caudal y la presión que suministra una bomba aumenta proporcionalmente con el número de revoluciones. Para un mismo régimen, el caudal puede variar en función de la viscosidad del aceite, es decir, cuando el aceite se calienta se vuelve más fluido y disminuye ligeramente la presión.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, la bomba debe dimensionarse para asegurar la presión suficiente a ralentí y con el aceite caliente (unos 80 °C). Con un elevado número de revoluciones, se generan presiones excesivas que es necesario reducir, ya que no aportan ventajas al engrase y sin embargo absorben potencia del motor. Por tanto, se hace necesaria la instalación de una válvula limitadora de presión o válvula de descarga.

La válvula de descarga generalmente se incorpora en la propia bomba, en el conducto de expulsión, de tal forma que en todo momento es sensible a la presión que existe a la salida.

Su constitución es sencilla, (figura 14.18) está compuesta por un émbolo y un muelle que queda tensado con una determinada fuerza. El conjunto de muelle y émbolo obtura un canal de descarga hacia el cárter.



↑ Figura 14.18. Válvula de descarga.

El funcionamiento es el siguiente: cuando la presión del aceite es baja la válvula permanece cerrada y todo el aceite circula hacia la canalización principal. Cuando el régimen del motor aumenta también aumenta la presión que se aplica sobre el émbolo de la válvula y esta comienza a abrirse, retornando parte del aceite al cárter. Con altas revoluciones la válvula se mantiene totalmente abierta, lo que provoca un elevado caudal de descarga que limita la presión máxima de lubricación.

La presión de engrase en el motor oscila entre 0,5 y 1 bar a ralentí, y de 3 a 5 bar de presión máxima medidas con el motor a temperatura de régimen.

Filtro de aceite

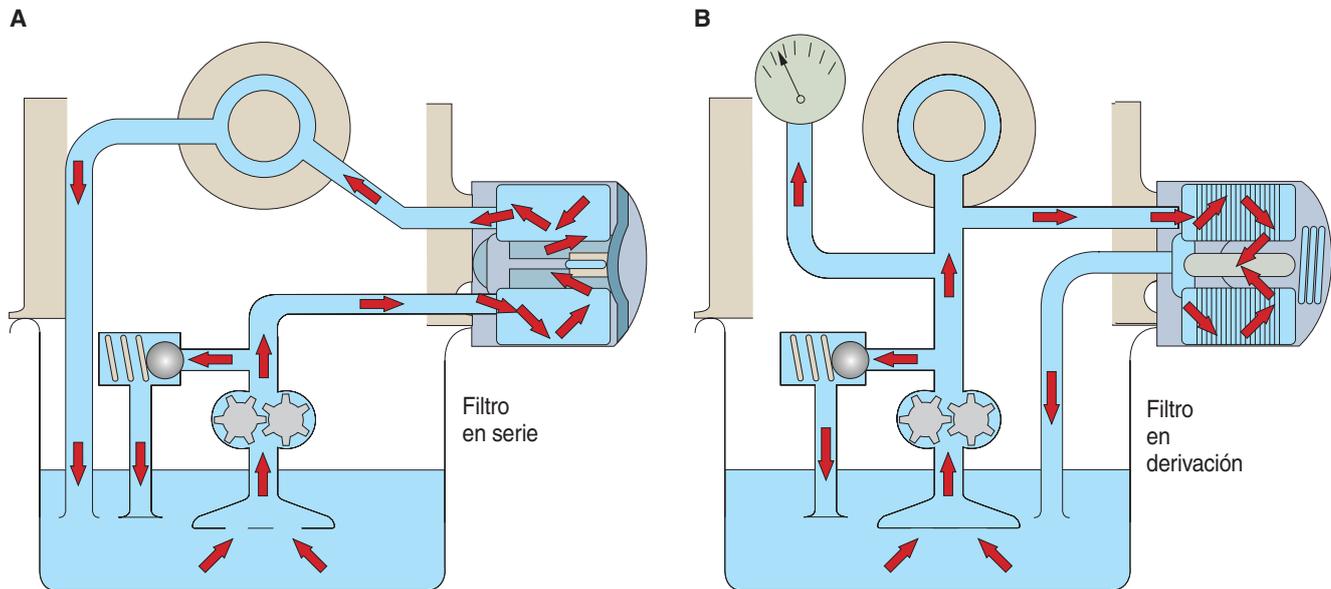
El aceite que es enviado a lubricar debe mantenerse limpio en todo momento. El filtro se instala en el circuito de engrase con el fin de retener las impurezas de hollín, partículas metálicas de desgaste o polvo que haya llegado hasta el cárter.

El aceite pasa previamente por el filtro de aspiración, que separa las partículas más gruesas, y después de ser impulsado por la bomba pasa a través del filtro principal donde se depura convenientemente.

El filtro de aceite puede instalarse en serie o en derivación con el circuito.

Filtro en serie

La instalación del filtro en serie (A-figura 14.19) es el sistema utilizado en la mayoría de los motores para automoción. Todo el aceite que sale de la bomba es obligado a pasar por el filtro, de esta manera se obtiene una buena limpieza del aceite.



↑ **Figura 14.19.** Instalación del filtro de aceite.

Este método de filtrado incorpora un conducto en derivación, controlado por una válvula *by-pass* (figura 14.20). En caso de que el filtro se obstruya por exceso de suciedad, podría impedir el paso de aceite. Si esto ocurre, la presión de la bomba abre la válvula y desvía el aceite a engrasar sin pasar por el filtro. Esta válvula viene incorporada habitualmente en el interior del filtro, cuando este es de cartucho desechable.

Filtro en derivación

El filtro va instalado en una derivación de la canalización principal (B-figura 14.19) por lo que solamente parte del aceite pasa por el filtro y, desde aquí, es devuelto al cárter.

El objetivo de este sistema es filtrar el aceite contenido en el cárter y no el que se manda directamente a engrasar. De forma que se limpia más lentamente, pero de manera más efectiva, ya que se puede usar un material filtrante más fino.

La ventaja de este sistema es que el aceite tiene paso libre hacia las canalizaciones sin la caída de presión que produce el filtro. Sin embargo, tienen el inconveniente de que el aceite que se manda a engrasar puede no estar limpio. Este sistema es utilizado en motores de gran cilindrada que requieren un elevado caudal de aceite.

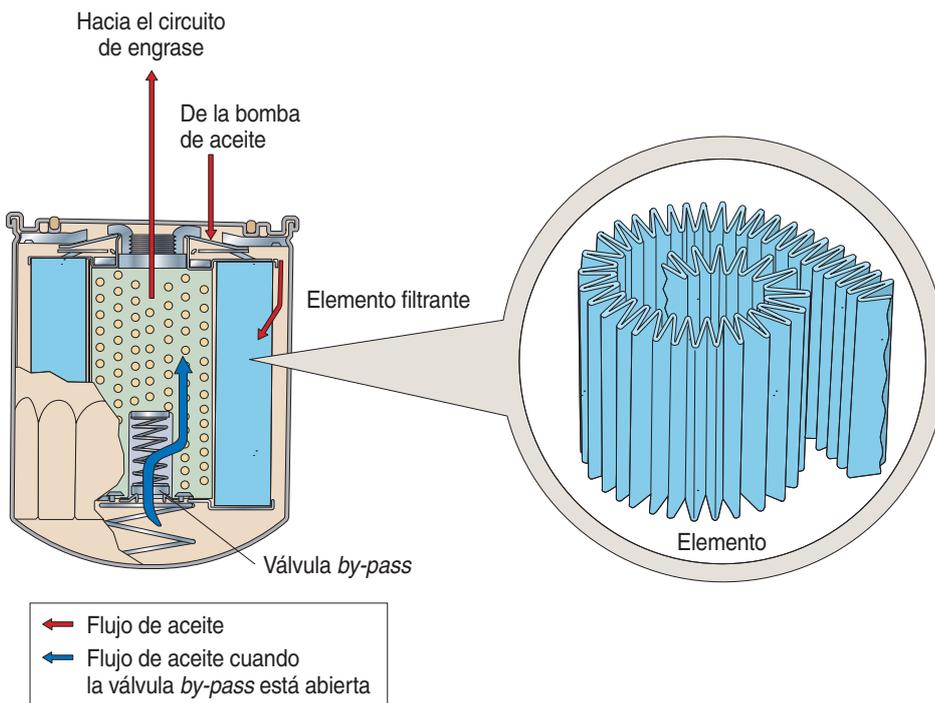
El filtro de aceite

El elemento filtrante está fabricado de papel poroso o de fibras especiales, va alojado dentro de la carcasa (figura 14.20) y doblado en forma de acordeón para reducir el espacio que ocupa. El elemento filtrante debe calcularse para que oponga una baja resistencia al paso del aceite. La resistencia depende de la superficie filtrante y el tamaño de los poros. Estos filtros pueden retener partículas de hasta 0,001 mm.

El aceite que circula a través del filtro entra lateralmente ocupando la periferia, y sale por la parte central atravesando el elemento filtrante que retiene la suciedad.

El filtro debe cambiarse dentro del periodo recomendado por el fabricante, aproximadamente cada 15.000 km, o una vez al año junto con el cambio de aceite reglamentario.

Generalmente el filtro es del tipo de **cartucho desechable**. Para sustituirlo solamente hay que desenroscarlo y colocar el nuevo, apretándolo con la mano. Otro tipo menos usado es el **filtro desmontable**. En este caso se desmonta la carcasa y se sustituye el elemento filtrante (figura 14.21).

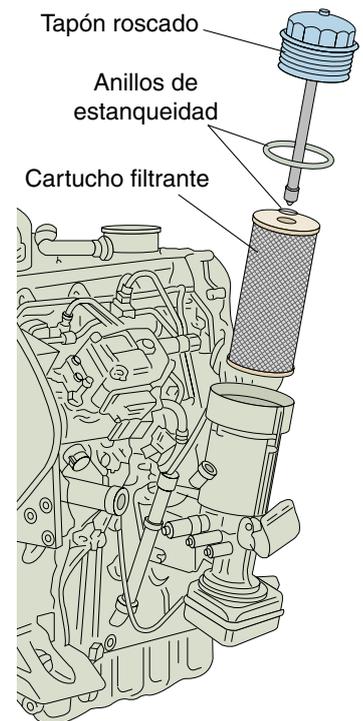


↑ **Figura 14.20.** Filtro de cartucho desechable.

En determinados puntos del circuito de lubricación se instalan **válvulas anti-retorno** para evitar que se descargue el aceite cuando el motor está parado, lo que daría lugar a una falta de engrase durante el arranque. Se dispone este tipo de válvula a la salida de la bomba o en el filtro para retener el aceite, y también en la culata (14-figura 14.10) cuando se montan taqués hidráulicos, para impedir que se vacíen de aceite.

caso práctico inicial

El filtro se debe cambiar cada vez que se cambia el aceite.



↑ **Figura 14.21.** Filtro desmontable.

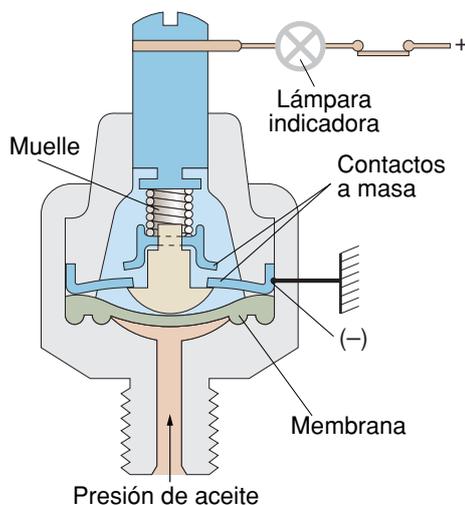
El manocontacto

Se sitúa en la canalización principal y su misión es detectar la falta de presión en el circuito. El manocontacto es un interruptor eléctrico que actúa por presión (figura 14.22), abriendo o cerrando el circuito de la lámpara indicadora situada en el tablero de instrumentos.

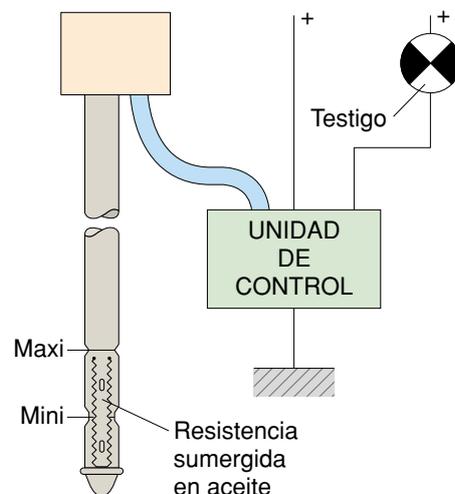
Cuando no hay presión, el muelle cierra el contacto a masa y la lámpara luce. Por el contrario, cuando la presión de engrase se aplica sobre la membrana, vence la fuerza del muelle abriendo el contacto y la lámpara se apaga.

Con el motor en marcha, el interruptor se cierra con una presión mínima determinada (0,3 a 0,5 bar) y la lámpara se enciende indicando falta de presión. En tal caso es necesario parar el motor inmediatamente para evitar averías mayores.

En algunos vehículos se instala un manómetro como elemento indicador de presión, en estos casos el manocontacto es sustituido por un transmisor de presión.



↑ **Figura 14.22.** Manocontacto de la presión de aceite.



↑ **Figura 14.23.** Elementos del indicador de nivel.

Indicador de nivel

El indicador dinámico de nivel de aceite es un dispositivo que avisa del bajo nivel de aceite en el cárter al poner el contacto y cuando el motor está en funcionamiento.

Consta de una varilla en cuyo extremo se coloca una resistencia. El valor óhmico de la resistencia varía en función de si está o no sumergida en el aceite. (figura 14.23).

Si el nivel de aceite desciende una unidad de control detecta la variación de la resistencia y avisa mediante el parpadeo de un testigo en el cuadro de instrumentos.

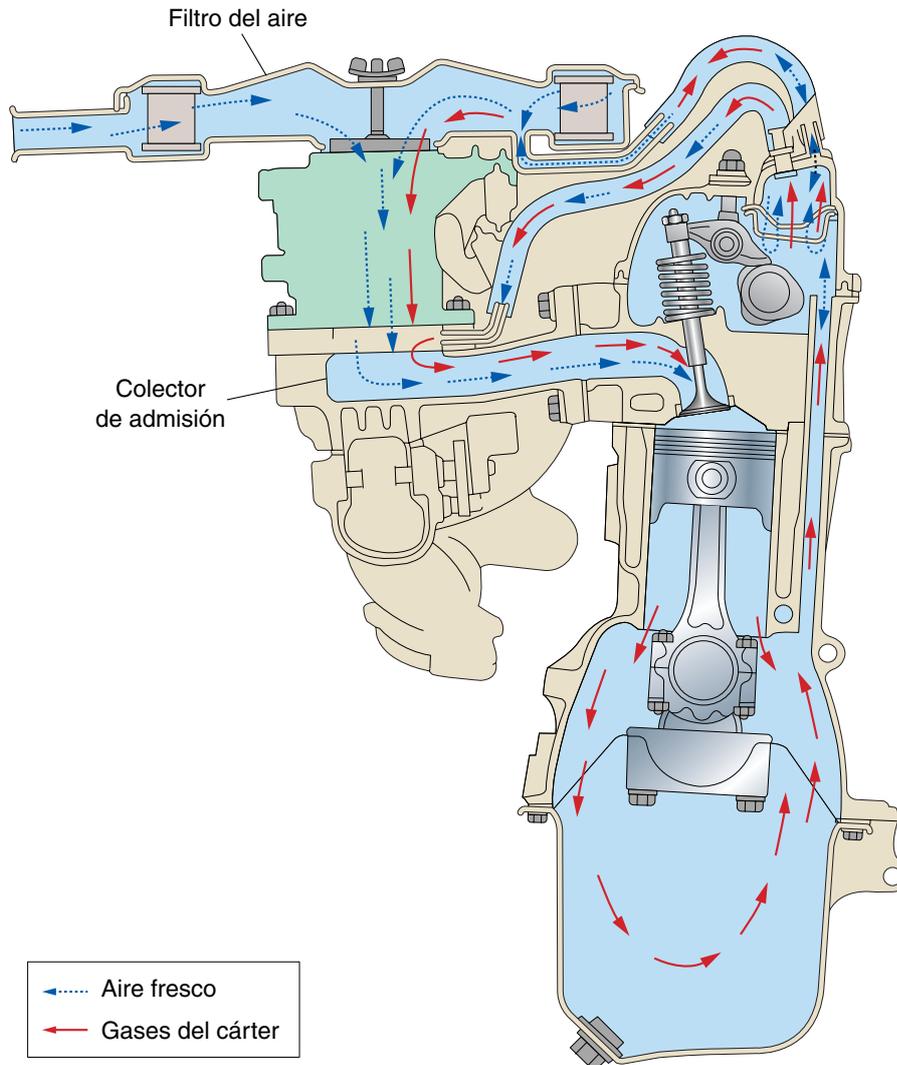
3.5. Ventilación del cárter

Hasta el cárter pasan gases procedentes de la compresión y de la combustión que se fugan a través de los segmentos. Estos gases, junto con el vapor de agua que se condensa dentro del cárter, contaminan el aceite acortando su vida útil.

En motores muy usados, las fugas elevan la presión dentro del cárter, lo que perjudica el movimiento de los pistones y puede llegar a deteriorar las juntas y los retenes. Además, hay que evitar que estos gases salgan al exterior ya que son muy contaminantes.

El sistema de ventilación del cárter consiste en canalizar los gases procedentes del cárter hasta el colector de admisión para ser quemados en el cilindro (figura 14.24).

Dado que la aspiración de los gases arrastra también aceite, se dispone en el circuito un filtro decantador que separa el aceite devolviéndolo de nuevo al cárter. Sin embargo, es inevitable que cierta cantidad de aceite llegue hasta la cámara de combustión, esto es beneficioso ya que sirve como lubricante a la zona alta del cilindro.



↑ **Figura 14.24.** Circuito de ventilación del cárter.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. Explica los tipos de rozamiento que se pueden dar en el motor.
- 2. ¿Cuáles son las funciones que desempeña el aceite de engrase?
- 3. Cita tres tipos de aditivos para el aceite.
- 4. ¿Qué función cumplen los aditivos dispersantes?
- 5. Enumera todos los grados de viscosidad SAE.
- 6. ¿Qué cualidades tienen los aceites multigrado?
- 7. ¿Cuáles son las categorías API para motores Diesel vigentes actualmente?
- 8. ¿Cómo se clasifican los aceites según los estándares ACEA?
- 9. Señala los elementos del motor que se engrasan a presión.
- 10. ¿Por qué es necesaria la refrigeración del aceite?
- 11. Explica el funcionamiento de un intercambiador agua-aceite.
- 12. ¿Cómo se refrigeran los pistones con el aceite de engrase?
- 13. Explica el funcionamiento de la bomba de engranajes.
- 14. ¿Qué función cumple la válvula de descarga?
- 15. ¿Qué dispositivo de seguridad llevan los filtros que van instalados en serie con el circuito?
- 16. ¿Por qué es necesaria la ventilación del cárter?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Cuál es la función principal de la lubricación?

- a) Transportar el aceite a presión por todo el motor.
- b) Reducir el contacto directo entre los metales en movimiento.
- c) Lubricar las paredes de los cilindros.
- d) Mantener limpio y refrigerado el aceite.

2 ¿Cómo se denomina el tipo de lubricación en el cual las superficies rozantes se mantienen separadas por una película de aceite?

- a) Rozamiento fluido.
- b) Rozamiento semifluido.
- c) Rozamiento seco.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

3 ¿Qué tipo de aditivo del aceite limpia los conductos y evita la formación de depósitos sólidos y lodos?

- a) Los dispersantes.
- b) Los detergentes.
- c) Los antioxidantes.
- d) Los anticorrosivos.

4 ¿Cómo se clasifican los aceites de motor?

- a) Por su densidad y su grado SAE.
- b) Para motores Otto y Diesel.
- c) Por su viscosidad y por las condiciones de utilización.
- d) En multigrados y monogrados.

5 La clasificación en grados SAE:

- a) Determina la clase de pruebas que se le hacen al aceite.
- b) Especifica el tipo de motor que lo puede usar.
- c) Especifica la calidad del aceite.
- d) Relaciona la viscosidad con la temperatura de uso del aceite.

6 La clasificación API se divide en dos series:

- a) Serie G para motores de Otto y D para Diesel.
- b) Serie A para motores de Otto y B para Diesel.
- c) Serie S para motores de Otto y C para Diesel.
- d) Serie H para motores de Otto y J para Diesel.

7 ¿Qué tipos de refrigeradores de aceite se utilizan en el circuito de engrase?

- a) Intercambiador agua-aceite y aire-aceite.
- b) Intercambiador aire-aire y aire-agua.
- c) Se refrigera a su paso por la culata.
- d) Mediante el aire acondicionado.

8 En un circuito de engrase con un filtro de aceite instalado en serie:

- a) El aceite pasa al circuito de engrase y después al filtro.
- b) Todo el aceite que sale de la bomba pasa por el filtro.
- c) Solo parte del aceite que sale de la bomba pasa por el filtro.
- d) El filtro va situado en el cárter.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor sobre soporte
- Documentación técnica

Circuito de engrase a presión

OBJETIVO

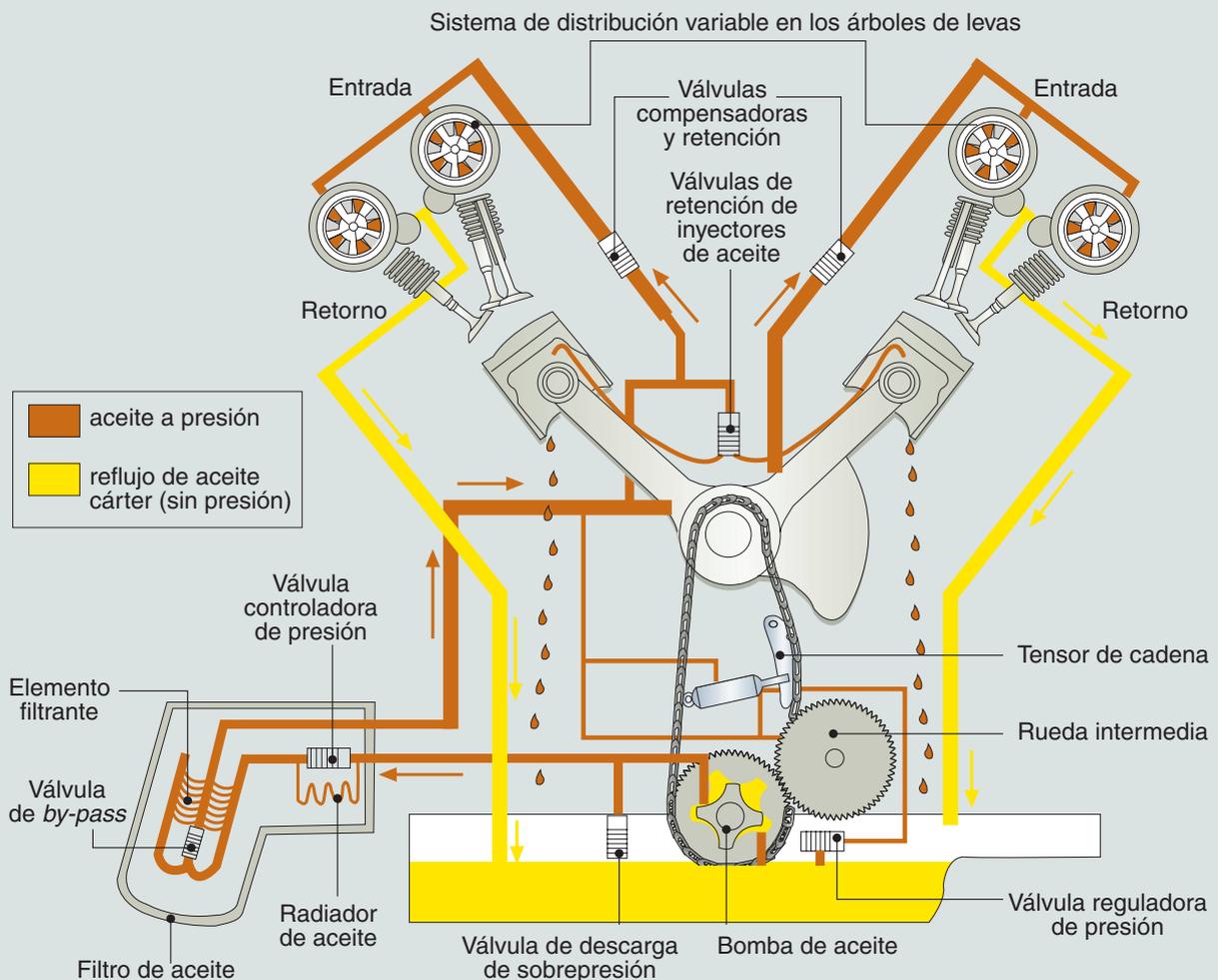
Examinar el circuito de engrase a presión del motor y dibujar un esquema.

DESARROLLO

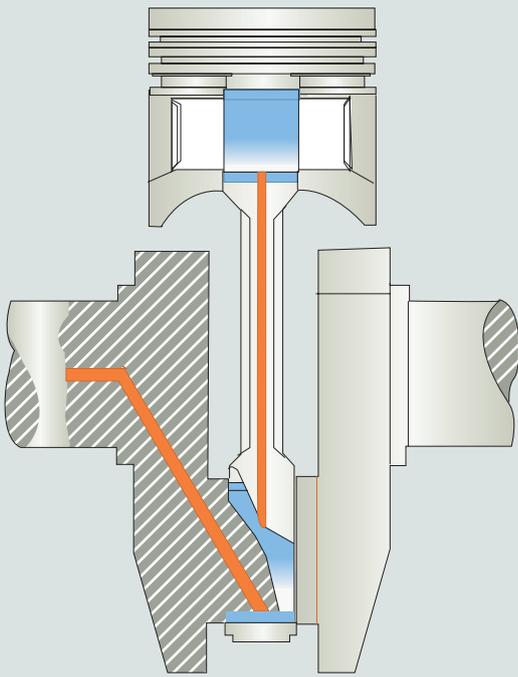
1. Con el motor desmontado se siguen los conductos de engrase, primero sobre el bloque y luego en la culata.
2. El circuito comienza a la salida de la bomba, de aquí parte un conducto que comunica con el filtro y después con la canalización principal, donde se encuentra el manómetro de presión de engrase.

La canalización principal está comunicada con cada uno de los apoyos de bancada, desde aquí el aceite llega a las muñequillas de biela a través de los conductos internos del cigüeñal.

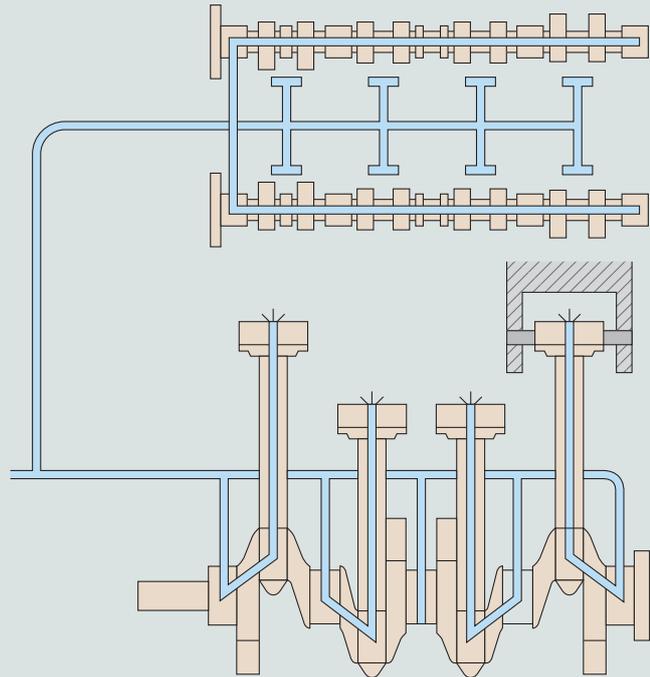
Desde la canalización principal sale un conducto que llega hasta la culata. En la culata el aceite se distribuye a los apoyos del árbol de levas y al interior del eje de balancines.



↑ Figura 14.25.



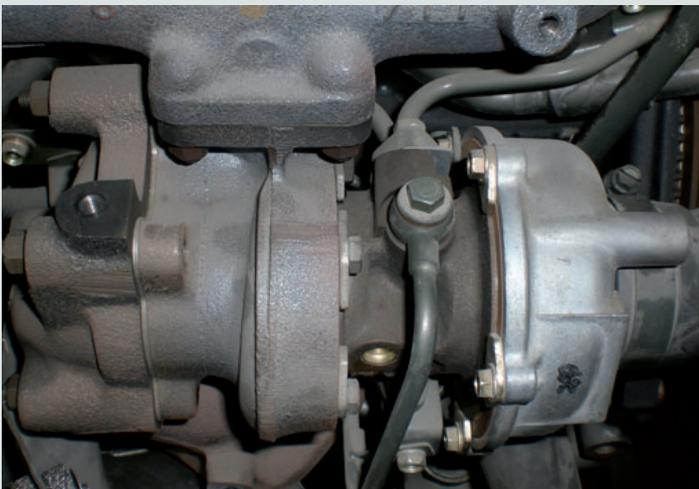
↑ **Figura 14.26.** Paso de aceite del cojinete del cigüeñal a la biela.



↑ **Figura 14.27.** Esquema del circuito de engrase.

3. Comprueba si el motor posee alguno de los siguientes dispositivos y completa el circuito:

- Taqués hidráulicos
- Refrigerador de aceite
- Tensor de cadena de distribución
- Surtidores para refrigeración del pistón
- Turbocompresor



↑ **Figura 14.28.** Canalización de engrase en el turbocompresor.



↑ **Figura 14.29.** Surtidor para refrigeración del pistón.



MUNDO TÉCNICO

Aceites sintéticos vs. convencionales

¿En que se diferencia un aceite mineral de un sintético?

Un aceite base mineral es aquel que se obtiene por destilación de petróleo crudo y su posterior refinación (eliminación de moléculas indeseables para la lubricación); no hay transformaciones químicas en su elaboración.

Un aceite sintético se obtiene optimizando moléculas a través de transformaciones químicas (síntesis). Las materias primas son, sin embargo, también componentes seleccionados del petróleo crudo, obtenidos en la industria petroquímica.

Desde el punto de vista del desempeño, se comprueba que las bases sintéticas tienen ventajas en **ESTABILIDAD TÉRMICA** (soportan temperaturas más altas sin descomponerse ni evaporarse) y tienen mayor **FLUIDEZ** a temperaturas ambientes y bajas, más **ESTABILIDAD** en el uso (resistencia al rompimiento molecular).

Pero las propiedades más apreciadas en la industria son:

- PELÍCULA LUBRICANTE MÁS RESISTENTE EN CONDICIONES CRÍTICAS DE CARGA.
- MENOR FRICCIÓN INTERNA o FLUIDA, ECONOMIZANDO COMBUSTIBLE.

¿Qué es un aceite semisintético?

Es un aceite que combina bases minerales y sintéticas en su formulación, además de un paquete o conjunto de aditivos especiales.

El objetivo de incluir sintéticos es mejorar la fluidez del producto en el arranque en frío, estableciendo así una resistente película lubricante en forma inmediata en las partes críticas del motor (p.ej.: ESSO ULTRA 10W-40).

Los aceites sintéticos ¿tienen ventajas para los automóviles particulares, o son exclusivos para competición?

Los aceites sintéticos adecuadamente formulados (p.ej.: Mobil 1 5W-50 o ESSO Ultron 5W-40), otorgan ventajas definitivas a los automóviles particulares:

A. Mínimo desgaste porque en el arranque se establece instantáneamente la lubricación en todo el motor. En menos de un segundo, los SAE 5W-40 llegan al árbol de levas a la cabeza; contrarrestando al temido desgaste por funcionamiento «en seco».

No olvidemos que el 70% del desgaste total del motor se produce en los primeros instantes tras el arranque.

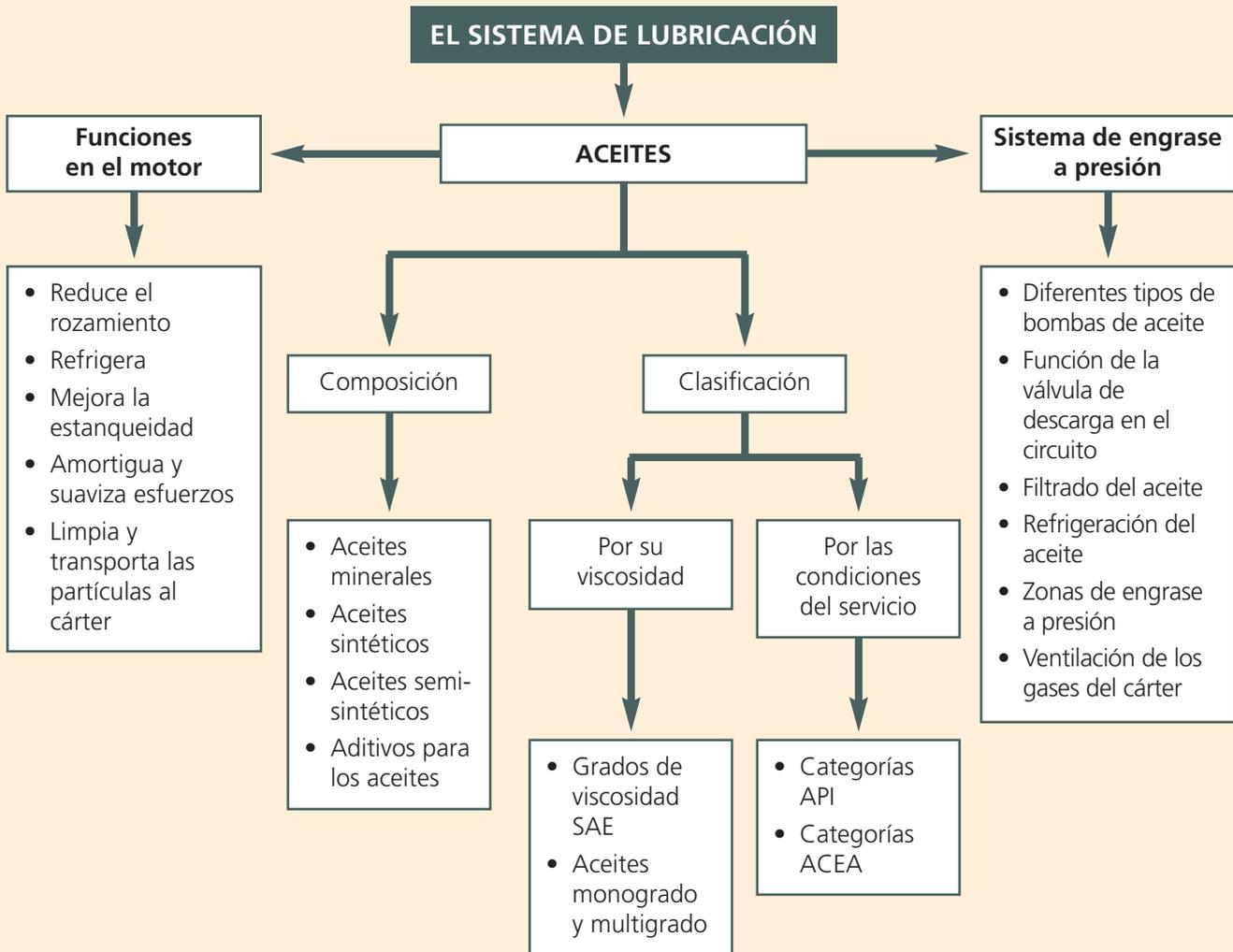
B. Mínimo consumo de aceite. Por su baja volatilidad no tienen tendencia a evaporarse con las altas temperaturas, y además por su mayor viscosidad en la zona de aros de pistón optimiza el sellado, con lo que menos aceite pasará a la cámara de combustión, donde se quema.

C. Economía de combustible: por sus grados 5W-40/5W-50; por sus exclusivos aditivos modificadores de fricción, y fundamentalmente por las propiedades de baja fricción de las bases sintéticas PAO, ESSO Ultron y Mobil 1 minimizan las resistencias internas del motor.

D. Mayor vida útil del motor: el desempeño general permite garantizar la protección total de la planta motriz, manteniendo su rendimiento como si fuera nuevo.

ExxonMobil
Lubricants & Specialties

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones web puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad:

- <http://www.oilven.com/faq.asp>
- <http://www.cal.org.ar/clasificacion.pdf>
- <http://www.zagabria.com.ar/lubricantes/tablademilitud.html>
- <http://www.castrol.com/castrol/genericarticle.do?categoryId=9014838&contentId=7030391>
- <http://www.essomobilborur.com/pdf/SolucionesSinteticos/Sinteticos.pdf>
- <http://www.gulf.es/es/content/NT00004A9E.pdf>
- <http://www.legionlandrover.com/manuales/guia%20de%20aceite%20para%20motores.pdf>

15

Comprobación del sistema de lubricación

vamos a conocer...

1. Mantenimiento del lubricante
2. Comprobación del sistema de lubricación

PRÁCTICA PROFESIONAL

Prueba de la presión en el circuito de engrase

MUNDO TÉCNICO

El excesivo consumo de aceite y sus causas



y al finalizar esta unidad...

- Realizarás las operaciones de mantenimiento del sistema de lubricación.
- Comprobarás cada uno de los elementos que componen el sistema de lubricación.
- Analizarás los valores obtenidos en las comprobaciones para determinar los elementos que se deben reparar o sustituir.
- Aplicarás las normas de seguridad y protección medioambiental que sean necesarias en cada operación.

situación de partida

Circulando por ciudad, de repente se enciende la luz de presión del aceite cuando nos detenemos ante un semáforo, y cuando aceleramos para salir del mismo y reanudar la marcha esta se apaga y solo se vuelve a encender cuando el vehículo desciende de revoluciones.

Alfredo, preocupado, visita al servicio oficial para exponer la avería, una vez diagnosticado el problema tras la verificación del sistema por parte del jefe de taller se llega a la conclusión que es un defecto de presión de engrase a consecuencia de no hacer el mantenimiento adecuado al vehículo ya que el aceite tenía un nivel muy escaso y su calidad era mínima. El jefe de taller mantiene una conversación con el propietario del vehículo intentando averiguar el porqué de la situación, y descubre que el anterior cambio de aceite lo ha hecho con uno de baja calidad, lo que ha llevado a la situación actual del motor. A continuación se cambia el aceite y el filtro, y se puso el adecuado según recomienda el fabricante.

A continuación se comprobó de nuevo la presión de engrase con el manómetro, observando que en ocasiones descendía más de lo debido, por lo que se verificaron diferentes componentes del circuito y se encontró el problema en la válvula de descarga que tenía el muelle con una presión insuficiente.



← Extractor neumático de aceite.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué relación consideras que hay entre la duración de un motor y el mantenimiento del mismo en cuanto a los cambios de aceite?
2. ¿Consideras que pueden variar los intervalos de mantenimiento en función del uso del vehículo?
3. ¿Qué otros componentes del circuito de lubricación podrían haber estado defectuosos, y nos habrían dado en principio los mismos síntomas?
4. ¿Cómo crees que el propietario del vehículo podía haber evitado este problema?
5. ¿Qué precaución medioambiental hay que tener en cuenta en este caso?



caso práctico inicial

Alfredo no hizo el mantenimiento adecuado y por eso la calidad del aceite era muy baja así como su nivel, causando de parte del problema.

1. Mantenimiento del lubricante

El aceite se deteriora con el uso, pierde sus cualidades lubricantes y es en parte consumido durante la combustión. Para asegurar la correcta lubricación del motor debe mantenerse el nivel de aceite en el cárter y realizar los cambios en los periodos recomendados.

El filtro recoge las impurezas del aceite, de modo que la acumulación de suciedad produce una mayor resistencia que puede provocar caídas de presión en el circuito, por lo que también, debe sustituirse con regularidad.

El mantenimiento del aceite comprende las siguientes operaciones:

- Control del nivel.
- Sustitución del aceite.
- Sustitución del filtro.

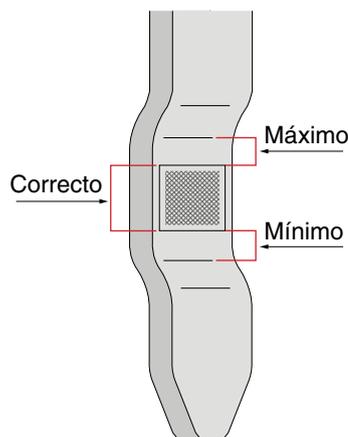
1.1. Control del nivel de aceite

Se efectúa con la varilla instalada a tal fin. El nivel del aceite debe mantenerse entre las dos marcas de máximo y mínimo que lleva grabadas en su extremo. Para realizar el control del nivel se sitúa el vehículo sobre una superficie plana, y se espera unos minutos después de parar el motor para que escurra todo el aceite hasta el cárter. En ese momento, se extrae la varilla y se limpia el aceite que haya sobre ella. Después se vuelve a introducir y se saca de nuevo, para observar la marca que deja el aceite. Si el nivel está por debajo del mínimo, debe reponerse la cantidad necesaria de aceite.

Actualmente muchos vehículos van equipados con una **sonda de nivel de aceite** en el cárter, que indica al usuario cuándo es necesario reponerlo.

Un bajo nivel de aceite puede ocasionar falta de alimentación a la bomba en frenadas bruscas o curvas pronunciadas, por lo que el circuito temporalmente se queda sin presión.

Un nivel demasiado alto no aporta ninguna ventaja, sin embargo se produce un mayor consumo de aceite debido a que se bate más y la neblina aceitosa es más espesa y pasa en mayor cantidad a la cámara de combustión a través de los segmentos y por la ventilación del cárter.



↑ **Figura 15.1.** Marcas de nivel de aceite.

Consumo de aceite

Como ya se ha visto, el consumo de aceite aumenta a medida que el motor envejece, las mayores holguras permiten que el aceite pase en más cantidad a la cámara de combustión, principalmente entre los segmentos y el cilindro y a través de las guías de válvula. Las principales causas de un elevado consumo de aceite son:

- El uso de un aceite muy fluido o de mala calidad.
- Temperatura del aceite demasiado alta.
- Nivel de aceite en el cárter por encima del máximo.
- Segmentos bloqueados en sus alojamientos por acumulación de carbonilla.
- Desgastes excesivos en cilindros, segmentos y guías de válvulas.
- Desgastes en los cojinetes del turbocompresor.

Se considera aceptable un consumo de aceite igual al 1% del consumo de combustible. Esta cifra debe tomarse como máxima ya que normalmente el consumo es menor. Los motores con cilindradas inferiores a 2.000 cm³ consumen como media entre 0,1 y 0,2 litros a los 1.000 km.

En todo caso el motor debe tener un consumo regular de aceite, si se altera esta regularidad será necesario buscar la causa entre las mencionadas anteriormente, comenzando por localizar posibles fugas a través de las juntas o de los retenes.

Control del consumo de aceite

Para determinar con exactitud el consumo de aceite, se puede realizar la siguiente prueba:

- Llevar el motor a su temperatura de funcionamiento (conexión del electroventilador) y extraer el aceite, recogiéndolo en un recipiente limpio, dejar escurrir durante 15 minutos.
- Pesarlo en una báscula precisa y anotar el peso exacto, para después devolverlo otra vez al motor.
- Después de hacer un recorrido de entre 300 y 500 km, extraer el aceite en el mismo recipiente, y dejarlo escurrir el mismo tiempo.
- Pesarlo de nuevo en la báscula. Poner aceite limpio en una probeta graduada y añadirlo al recipiente hasta conseguir el mismo peso anotado antes del recorrido.

La cantidad de aceite añadido será el consumo en los kilómetros recorridos, con estos datos es posible calcular el consumo para 1.000 km.

1.2. Sustitución del aceite y del filtro

El fabricante indica en su manual de mantenimiento los intervalos para el cambio de aceite y filtro, que por lo general se sitúan entre los 10.000 y los 15.000 km de recorrido para aceites minerales y de 30.000 a 50.000 km para aceites sintéticos. Los intervalos pueden variar en función del tipo de motor, de las características del aceite empleado y de las condiciones de utilización del vehículo.

Condiciones desfavorables que degradan rápidamente el aceite

- Recorridos cortos con el motor frío.
- Circulación por ciudad con frecuentes paradas.
- Funcionamiento del motor con elevadas cargas.
- Fugas de gases hacia el cárter.
- Funcionamiento en ambientes con mucho polvo.

Dada la importancia de mantener el aceite en buenas condiciones lubricantes para la duración del motor, los periodos de cambio de aceite se acortarán si el motor funciona bajo alguna de estas circunstancias desfavorables.

La **calidad del aceite** que debe emplearse la determina el fabricante en función del tipo de motor y de las condiciones que sufrirá el aceite durante su uso. La categoría del aceite se especifica según las clasificaciones API, ACEA o cualquier otra que se indique en el manual de mantenimiento.

Por ejemplo, si para un motor de gasolina se aconseja un aceite de categoría API-SJ, o ACEA A3-98, deberemos elegir un aceite en el que se indique sobre la etiqueta de su envase al menos una de estas categorías u otras superiores.

seguridad

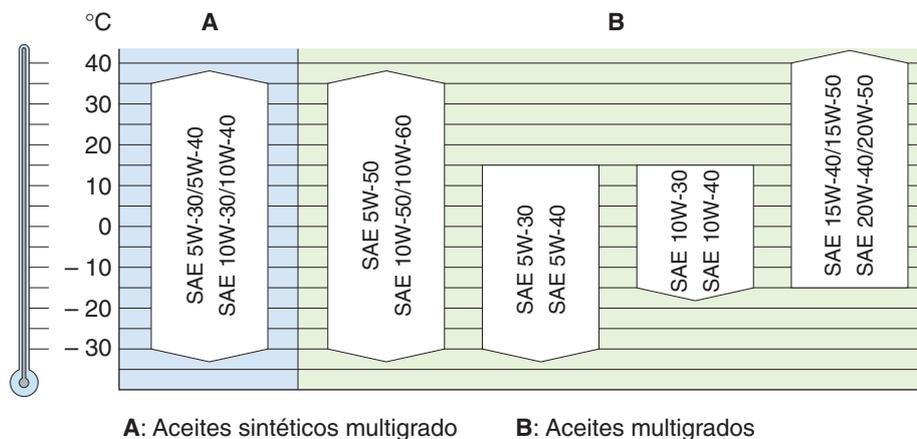
Para la manipulación del circuito de engrase y el cambio de aceite, utiliza guantes y gafas protectoras, tanto si se hace por gravedad como si se utiliza el extractor neumático de aceite.

tratamiento de residuos

Tanto el filtro como el aceite usados se deben de depositar en recipientes adecuados para su retirada y posterior reciclaje.

caso práctico inicial

El uso laboral que Alfredo hace de su vehículo es el causante de que tenga un mantenimiento más frecuente en el aceite, es repartidor a domicilio, en ciudad.



↑ **Figura 15.2.** Empleo de aceites según viscosidad SAE.

Para motores Diesel existe un mayor número de categorías y, para cada una de ellas, se utilizan unos aditivos específicos, por lo que siempre se usará el aceite de la calidad recomendada. Por ejemplo, en un motor turbodiesel con elevado número de revoluciones se podría usar un aceite API CG-4 o ACEA B3-96, equivalente a un CCMC PD-2/G5.

La viscosidad SAE se escogerá en función de la temperatura ambiente en la que va a ser utilizado el motor (figura 15.2). Los aceites multigrado, de uso más genérico son 15W-50, 20W-40 o 20W-50. Para climas con temperaturas extremas se elegirá un aceite de viscosidad adecuada.

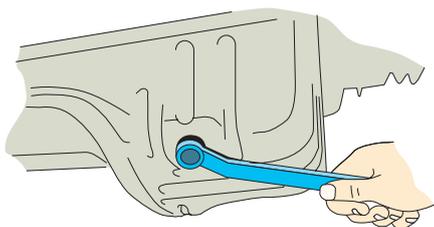
caso práctico inicial

Al motor de Alfredo le cambiaron el aceite por el tubo que aloja la varilla del nivel, con un extractor de aceite neumático.

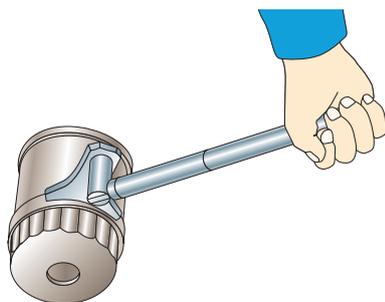
La extracción del aceite se realiza con el motor caliente, ya que al encontrarse más fluido facilita el vaciado.

El procedimiento será el siguiente:

- Quitar el tapón del cárter (figura 15.3) y dejar escurrir durante unos minutos.
- Aflojar el filtro con una llave específica (figura 15.4) y desenroscarlo hasta extraerlo. Limpiar el soporte del filtro sobre el motor, impregnar con aceite limpio la junta del nuevo filtro (figura 15.5) y enroscarlo apretando con la mano. Poner el tapón del cárter con una arandela de estanqueidad nueva y apretarlo. Rellenar con la cantidad exacta de aceite, después de unos minutos, controlar el nivel.
- El aceite usado es un producto contaminante, por lo que nunca debe eliminarse por el alcantarillado o depositarse en cualquier lugar. Deberá almacenarse para que sea recogido y tratado por organismos autorizados según las normas vigentes.



↑ **Figura 15.3.** Vaciado del aceite.



↑ **Figura 15.4.** Extracción del filtro.



↑ **Figura 15.5.** Lubricación de la junta del filtro.

2. Comprobación del sistema de lubricación

La calidad del aceite empleado, así como el buen estado del sistema de lubricación, influyen de manera importante en la duración del motor y en el buen funcionamiento del mismo.

Para conocer el estado general del sistema de lubricación se realiza la prueba de presión de aceite en el circuito.

2.1. Comprobación de la presión de engrase

Para esta operación es necesario emplear un manómetro con graduación de 0 a 10 bar y un juego de diferentes adaptadores (figura 15.6).

Extraer el manocontacto, situado en la canalización principal, y conectar en su lugar el manómetro mediante el adaptador adecuado (figura 15.7).

Poner el motor en marcha y llevarlo a su temperatura de régimen.

Tomar la presión a ralentí y después al régimen que indique el fabricante.

Ejemplo:

- Presión mínima a ralentí, 0,5 bar.
- Presión a 3.000 rpm de 3 a 5 bar.

Después, parar el motor, desmontar el manómetro y enroscar de nuevo el manocontacto con una junta nueva. Comprobar el nivel de aceite.

Finalmente, evaluar los resultados comparando los datos obtenidos con los del fabricante.

Posibles causas de presión baja

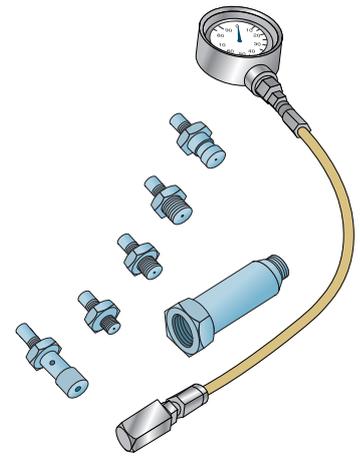
- Bomba de aceite en mal estado por desgastes o fugas.
- Mal funcionamiento de la válvula de descarga. El muelle ha perdido fuerza o el pistón tiene un cierre defectuoso.
- Holguras excesivas en cojinetes de bancada y biela.
- Filtro obstruido, cuando va montado en serie.
- Mala calidad del aceite o viscosidad inadecuada.

Posibles causas de presión alta

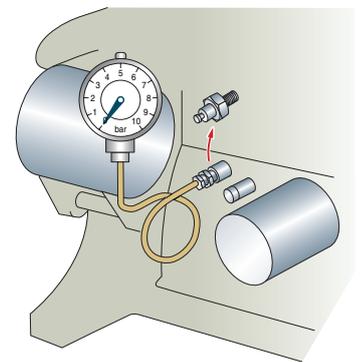
- Válvula de descarga defectuosa. El pistón está agarrotado.
- Canalizaciones obstruidas.
- Filtro obstruido, cuando va montado en derivación.

2.2. Desmontaje y comprobación de la bomba y válvula de descarga

Vaciar el aceite, desmontar el cárter y extraer la bomba. Cuando la bomba se monta en el extremo del cigüeñal, como es el caso de la bomba de hoz, para acceder a ella será necesario extraer la polea de accesorios y la correa o cadena de distribución y, a continuación, extraer la bomba y el filtro de aspiración.



↑ **Figura 15.6.** Manómetro y adaptadores para la comprobación de la presión de aceite.



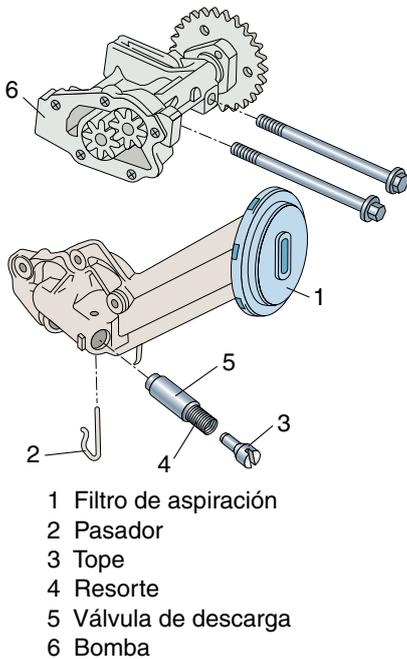
↑ **Figura 15.7.** Medición de la presión de aceite.

caso práctico inicial

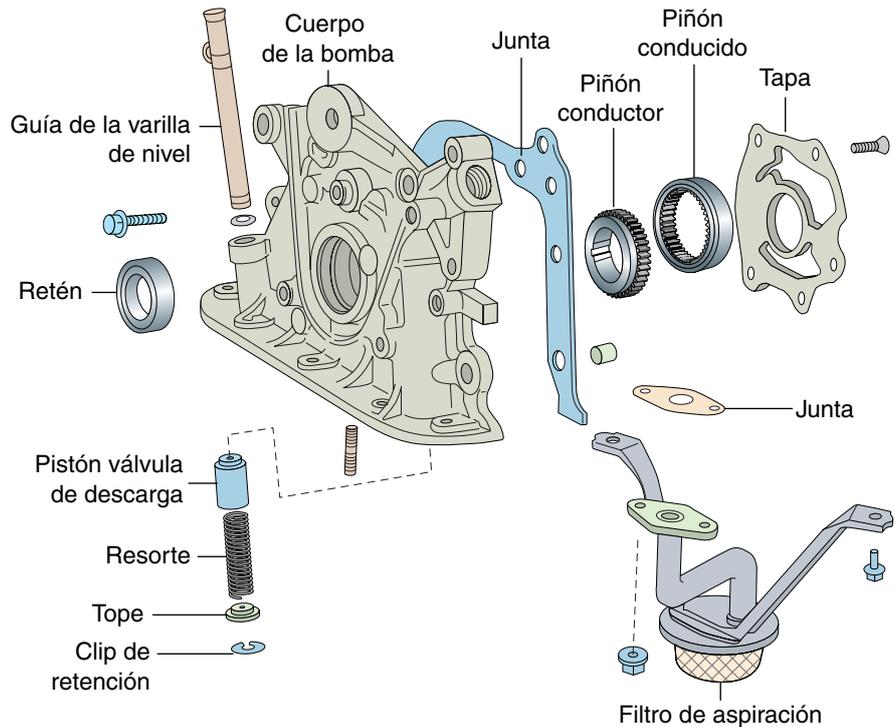
La pérdida de fuerza en el muelle de la válvula de descarga es la causa de la baja presión en el circuito de engrase.

Revisión de la bomba de aceite

Desmontar la tapa y extraer los piñones o los rotores dependiendo del tipo de bomba (figura 15.8 y 15.9). Limpiar todos los componentes, secarlos con aire a presión y examinar su estado. La carcasa es generalmente de aluminio, por lo que está expuesta a mayores desgastes, revisar especialmente la tapa que roza con los piñones y el casquillo sobre el que gira el eje.



↑ Figura 15.8. Bomba de engranajes.



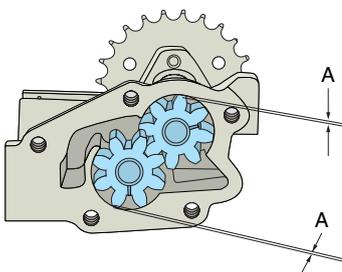
↑ Figura 15.9. Bomba de hoz.

Si la bomba presenta holguras excesivas en su mecanismo, pierde su capacidad de bombeo y no es capaz de suministrar el caudal suficiente. En tal caso es necesario sustituir la bomba completa.

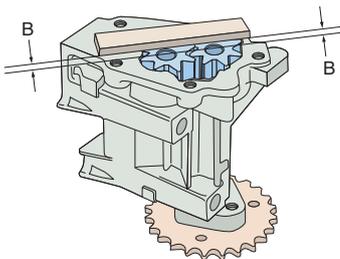
Para verificar el estado de la bomba se introducen los piñones o rotores en su alojamiento del cuerpo de la bomba y con galgas de espesor adecuado se realizan las siguientes comprobaciones:

Bomba de engranajes

- Holgura radial de los piñones con el cuerpo de la bomba (A-figura 15.10).
- Holgura axial de los piñones colocando una regla de planitud en el lugar de la tapa (B-figura 15.11).
- Holgura entre los dientes de los piñones introduciendo la galga entre dos de ellos.



↑ Figura 15.10. Holgura radial.



↑ Figura 15.11. Holgura axial.

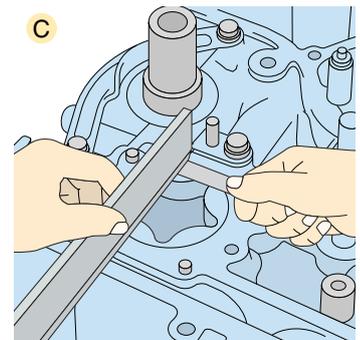
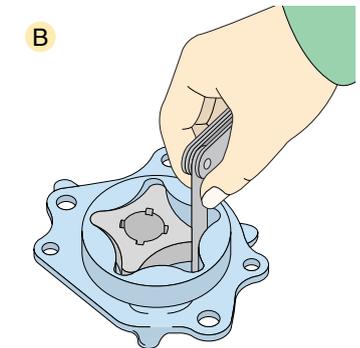
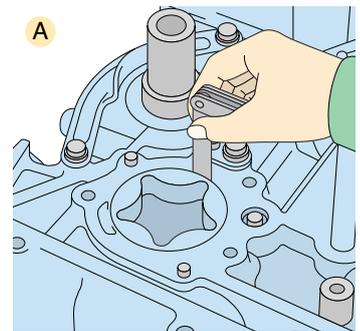
Holgura	Admisible (mm)	Máxima (mm)
Holgura radial	0,10 - 0,20	0,25
Holgura axial	0,02 - 0,10	0,15
Holgura entre dientes	0,05 - 0,10	0,20

- Comprobar la holgura entre el eje del piñón conductor y su casquillo en la carcasa. Un juego superior a 0,10 mm origina fugas de aceite y pérdida de presión.

Bomba de rotores (figura 15.14)

- Holgura radial del rotor exterior con el cuerpo de la bomba (A).
- Holgura entre los dientes del rotor central y los lóbulos del rotor exterior (B).
- Holgura axial de los rotores, colocando una regla de planitud en el lugar de la tapa (C).

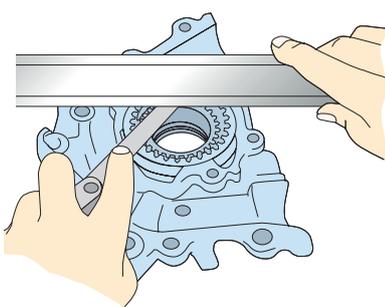
Holgura	Admisible (mm)	Máxima (mm)
Holgura radial	0,10 - 0,20	0,25
Holgura axial	0,05 - 0,10	0,15
Holgura entre lóbulos	0,10 - 0,15	0,25
Holgura en el eje		0,10



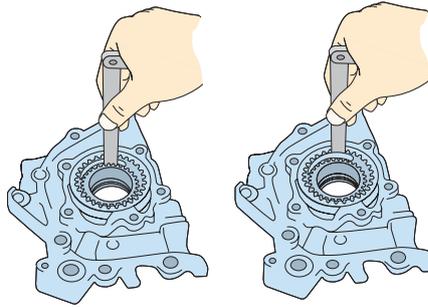
↑ **Figura 15.14.** Control de la bomba de rotores. A-Holgura entre rotor y cuerpo, B-Holgura entre dientes, C-Holgura axial.

Bomba de engranajes interiores (bomba de hoz)

- Holgura radial del piñón exterior con el cuerpo de la bomba (figura 15.15).
- Holgura axial de los piñones, colocando una regla de planitud en el lugar de la tapa (figura 15.12).
- Holgura entre los dientes de los piñones y el cuerpo de hoz por ambos lados (figura 15.13).



↑ **Figura 15.12.** Holgura axial.



↑ **Figura 15.13.** Holgura entre dientes y cuerpo de hoz.

Holgura	Admisible (mm)	Máxima (mm)
Holgura radial	0,10 - 0,15	0,20
Holgura axial	0,25 - 0,75	0,10
Holgura entre dientes	0,10 - 0,20	0,30

Válvula de descarga

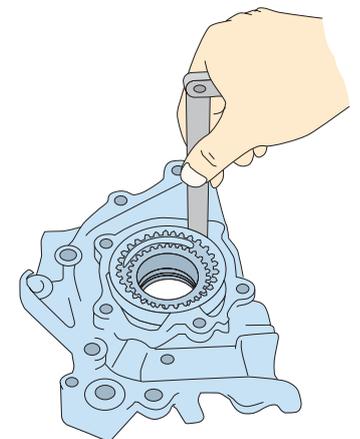
La válvula de descarga comúnmente va montada en el cuerpo de la bomba. Por lo general, no dispone de sistema de regulación, su correcto funcionamiento depende de que el muelle conserve su elasticidad y su fuerza.

Desmontar la válvula con cuidado, ya que el muelle está comprimido, extraerlo junto con el pistón.

Inspeccionar el pistón o bola de la válvula y comprobar que no presenta señales de agarramiento y que se desliza correctamente en su alojamiento.

Armar el conjunto, lubricando cada una de las piezas, y montar la bomba en el motor.

Por último, montar el cárter con una junta nueva y volver a comprobar la presión de aceite en el circuito.



↑ **Figura 15.15.** Holgura radial.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. Comprueba la presión en el circuito de engrase:
 - Extrae el manocontacto e instala un manómetro.
 - Lleva el motor a su temperatura de funcionamiento.
 - Toma la presión a ralentí y a las revoluciones que indiquen los datos técnicos.
 - Razona las posibles causas de una presión incorrecta.
- 2. Desmonta y comprueba la bomba de aceite y la válvula de descarga:
 - Vacía el aceite, desmonta el cárter y extrae la bomba.
 - Desmonta la tapa, extrae los piñones o rotores y límpialos.
 - Monta los piñones o rotores en la carcasa y comprueba:
 - Holgura radial de los piñones.
 - Holgura axial de los piñones.
 - Holgura entre los dientes de los piñones.
 - Inspecciona el muelle y el pistón de la válvula de descarga.
 - Arma la bomba.
- 3. Compara los valores obtenidos con los datos técnicos para decidir la reparación, reglaje o sustitución de los elementos afectados.
- 4. Monta la bomba, repón el aceite y filtro y comprueba el nivel:
 - Monta la bomba y el cárter.
 - Sustituye el filtro y repón el aceite de la calidad adecuada.
 - Controla el nivel de aceite.
- 5. Verifica de nuevo la presión de engrase. Para ello, se deberá verificar la presión como en el punto 1.
- 6. Controla el consumo de aceite después de recorrer 300 km:
 - Con el motor caliente extrae el aceite.
 - Pévalo y devuélvelo al motor.
 - Haz un recorrido de 300 km, vuélvelo a extraer y pévalo de nuevo.
 - Con una probeta mide el volumen de aceite necesario para igualar el peso antes y después del recorrido.
 - El consumo de aceite en 1.000 km será: $x = \frac{1.000 \cdot \text{cm}^3 \text{ consumidos}}{300}$ (cm³)
 - También se puede calcular en función del peso, sabiendo que el aceite tiene un peso específico de 0,88 g/cm³. Suponiendo un consumo de 85 g en 300 km.

$$\text{Consumo} = \frac{85}{0,88 \cdot 300} = 0,32 \text{ L/1.000 km}$$
- 7. Realiza un dibujo esquemático del circuito de engrase a presión con todos los componentes.
- 8. Cita las causas que pueden provocar un mal funcionamiento en el sistema de lubricación.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿En qué zonas del motor se produce principalmente el consumo de aceite?

- a) En el cigüeñal y los segmentos.
- b) En los segmentos y el árbol de levas.
- c) En el cárter y la junta de culata.
- d) A través de los segmentos y las guías de válvula.

2 La viscosidad SAE del aceite se escogerá en función de:

- a) La temperatura ambiente.
- b) La temperatura del motor.
- c) Las condiciones de funcionamiento.
- d) Los kilómetros recorridos al año.

3 ¿Cómo se fija el filtro de aceite?

- a) Con llave dinamométrica.
- b) Se aprieta con la mano.
- c) Se le da el par recomendado.
- d) Con una llave inglesa.

4 ¿Dónde se monta habitualmente el manómetro para medir la presión de engrase?

- a) En el lugar del filtro.
- b) En el lugar del manocontacto.
- c) En el cárter.
- d) En la culata.

5 ¿Qué causas pueden provocar una presión insuficiente en el circuito de engrase?

- a) Mal estado de la bomba o válvula de descarga.
- b) Holguras excesivas en los cojinetes.
- c) Aceite muy fluido.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

6 ¿Cómo se comprueba la holgura axial de los piñones en una bomba de aceite?

- a) Con la sonda del calibre.
- b) Con el reloj comparador.
- c) Con la regla de planitud y la galga de espesores.
- d) Con el micrómetro.

7 ¿Qué comprobaciones se hacen en una bomba de engranajes?

- a) Holgura radial y axial de los piñones y holgura entre dientes.
- b) Holgura radial, holgura entre lóbulos y en el eje.
- c) Ovalamiento en el eje y holgura axial.
- d) Holgura entre dientes y el cuerpo de hoz y holgura radial.

8 En caso de que el filtro quede obstruido:

- a) El aceite pasa de la bomba al cárter.
- b) El aceite circula solo por el cigüeñal.
- c) Se abre la válvula *by-pass* y el aceite circula sin filtrar.
- d) El circuito se queda sin aceite.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller
- Manómetro

MATERIAL

- Motor
- Documentación técnica

Prueba de la presión en el circuito de engrase

OBJETIVO

Comprobar los valores de la presión de engrase a diferente número de revoluciones.

DESARROLLO

1. Se comprueba que el nivel de aceite sea correcto.
2. Se pone el contacto y se comprueba que se enciende la lámpara de control de presión de aceite. Al arrancar el motor la lámpara debe apagarse.
3. Con el motor parado se extrae el manocontacto y se instala en su lugar un manómetro con escala de 0 a 10 bar.
4. Se hace funcionar el motor hasta que el aceite alcance una temperatura superior a 80 °C.
5. Se consultan los datos en la documentación técnica y se comprueban:
 - Presión a ralentí – 0,8 bares
 - Presión a 2000 rpm – 2 bares mínimo
 - La presión máxima a altas revoluciones no debe superar los 6 bares.
6. Se para el motor, se desconecta el manómetro y se instala el manocontacto (usar guantes de protección para evitar quemarse con el aceite). Limpiar el aceite que se haya derramado.
7. Se verifica el nivel de aceite, se pone el motor en marcha y se comprueba que se apaga la lámpara de control de presión de aceite.

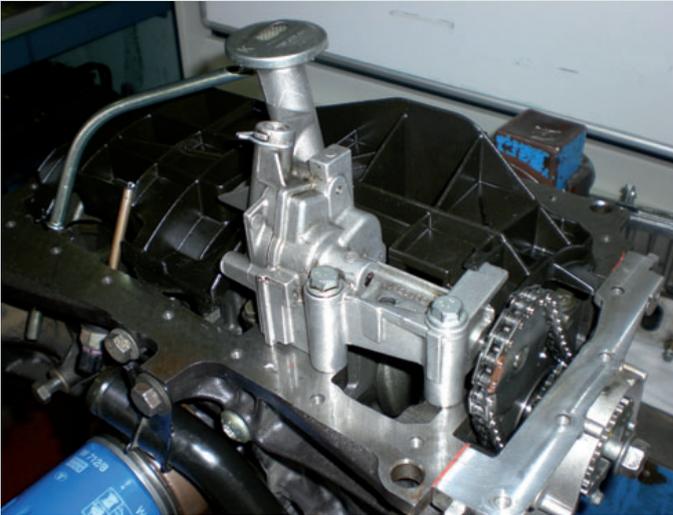


↑ Figura 15.16. Manocontacto.

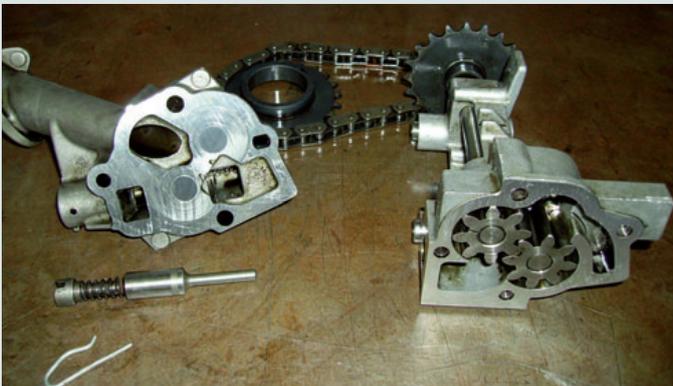


↑ Figura 15.17. Manómetro conectado.

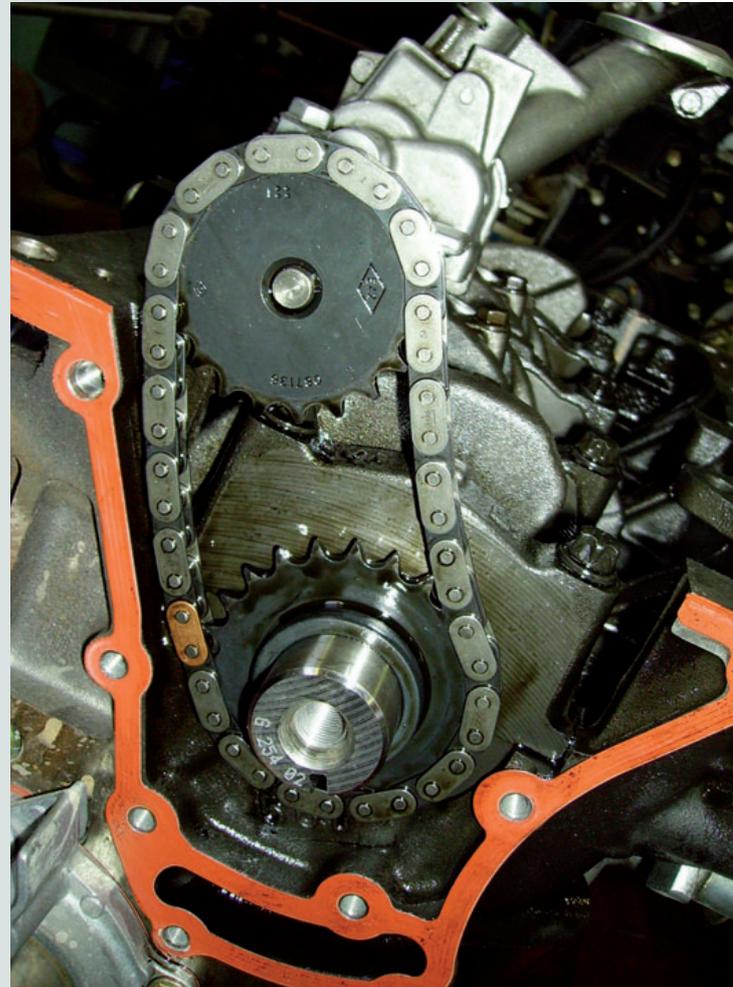
8. En caso de que las presiones medidas sean inferiores a las indicadas en la documentación técnica se comprobará la bomba, la válvula de descarga y la calidad del aceite.
9. Vaciar el aceite y examinar su estado. Comprobar que no está demasiado fluido por haberse mezclado con el combustible o con el líquido de refrigeración. Que no esté quemado por haber trabajado con altas temperaturas. En todo caso cambiar el aceite por uno de calidad y viscosidad adecuada.
10. Desmontar el cárter y extraer la bomba de aceite. Comprobar que el pistón de la válvula de descarga no está agarrotado. Desarmar la bomba y comprobar las holguras. Si se encuentran desgastes excesivos cambiar la bomba.
11. Montar la bomba y el cárter con una junta nueva. Llenar el aceite hasta su nivel, arrancar el motor y volver a comprobar la presión.



↑ Figura 15.18. Bomba de engrase.



↑ Figura 15.19. Despiece de la bomba.



↑ Figura 15.20. Transmisión por cadena cigüeñal-bomba.



MUNDO TÉCNICO

El excesivo consumo de aceite y sus causas

El aceite de motor pasa a la cámara de combustión a través de los segmentos, a los conductos de admisión y de escape a través de las guías de válvulas, y sale hacia el exterior a través de la ventilación del cárter en forma de vapor y neblina de aceite. La mayor parte de este aceite se quema o se oxida en el catalizador. Cuando el pistón desciende siempre queda una película de aceite muy delgada adherida al cilindro. Parte de este aceite se vaporiza y se quema, y el resto sirve para lubricar el segmento superior. Por esta razón es normal e incluso deseable que exista un cierto consumo de aceite. Este consumo puede oscilar entre 0,05 y 0,5 L cada 1.000 km para los motores de los coches actuales pequeños y medianos. El consumo de los motores de mayor cilindrada así como de vehículos industriales puede ser más elevado. Un motor nuevo o rectificado puede consumir algo más de aceite durante la fase de rodaje, hasta los 5.000 km aproximadamente.

El excesivo consumo de aceite y el humo azul por el tubo de escape es un indicio de la presencia de aceite en la cámara de combustión, y con ello del desgaste de componentes del motor.

Desgaste de cojinetes en el turbocompresor

Si los cojinetes del turbocompresor están desgastados esto puede provocar una fuga de aceite. Este aceite puede llegar hasta la cámara de combustión a través de la admisión de aire, donde se quema produciendo humo.

Nivel de aceite excesivo

En este caso el cigüeñal se hunde más en el aceite del cárter. La consecuencia es una mayor presencia de neblina de aceite. Si el aceite está viejo o es de mala calidad, existe el riesgo adicional de formación de espuma. Esta neblina de aceite, y eventualmente la espuma, puede alcanzar el conducto de admisión a través de la aireación del cárter y de esta manera llega hasta la cámara de combustión.

Aceite con escasa capacidad de carga

Cuando se retrasa el cambio de aceite o se utiliza aceite de mala calidad disminuye su capacidad de carga. Como consecuencia de ello aumenta el desgaste de todas las piezas móviles, de modo que se reduce la hermeticidad hacia el cárter con el consecuente incremento del consumo de aceite.

Deformación de la culata del motor

En el caso de un montaje incorrecto de la culata del motor, por ejemplo cuando no se observa el orden y el par de apriete especificado para los pernos, pueden producirse deformaciones en el cilindro. Lo mismo puede ocurrir cuando se vuelven a utilizar los pernos antiguos para el montaje de la culata, ya que su comportamiento puede alterarse al apretarlos nuevamente (por esta razón muchos fabricantes recomiendan utilizar pernos nuevos cada vez que se vuelve a montar la culata del motor). La consecuencia es que debido a la pérdida de redondez del hueco de los cilindros, los segmentos ya no consiguen la estanqueidad requerida, de modo que entra aceite a la cámara de combustión.

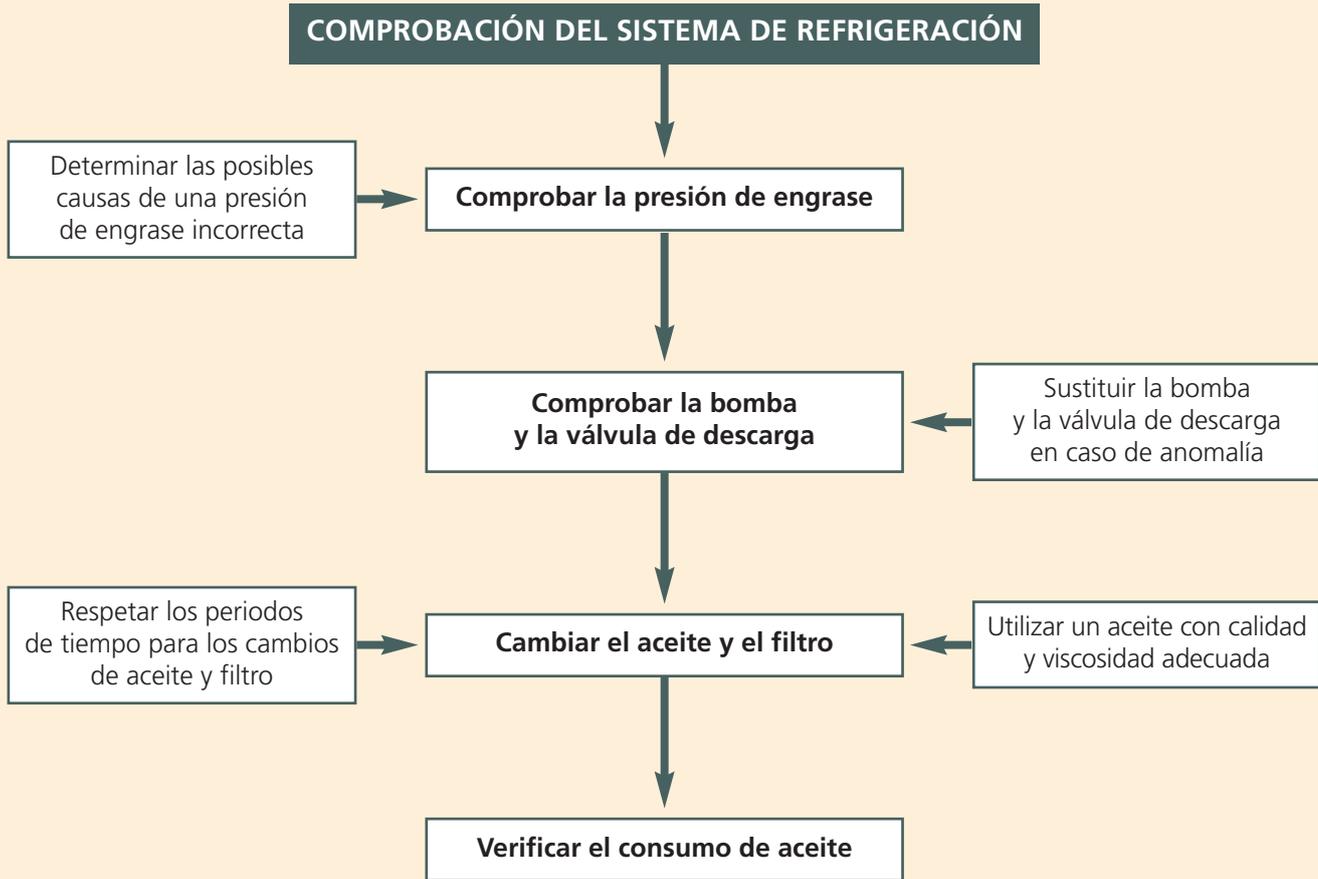
Desgaste de segmentos y cilindros

Emisión de humo azulado y alto consumo de aceite por el fuerte desgaste de los componentes. Las causas pueden ser:

La presencia de combustible sin quemar en la cámara de combustión, el cual diluyó la película de aceite reduciendo su capacidad de lubricación; la presencia de partículas abrasivas en el aceite de motor (impurezas); la alteración de la película de aceite debido a un sobrecalentamiento del motor; un gran riesgo, en particular durante la primera puesta en servicio de un motor nuevo o rectificado.

MAHLE Aftermarket

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones web puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad:

- <http://www.comercialdelmotor.com/Documentacion/consumoaciete.pdf>
- <http://www.mahle.com/C12570B3006C0D49/CurrentBaseLink/W27ELGNW209STULES>
- <http://www.buenamar.com/utilerias/Presion%20de%20aceite.pdf>
- <http://members.fortunecity.es/100pies/varios/averias.htm>
- <http://www.mahle.com/C12570B3006C0D49/CurrentBaseLink/W2776GAB448STULES>
- <http://www.uclm.es/profesorado/porrasyoriano/motores/temas/lubricacion.pdf>

16

El sistema de refrigeración

vamos a conocer...

1. Función de la refrigeración
2. Refrigeración por aire
3. Refrigeración por agua

PRÁCTICA PROFESIONAL

Circuito eléctrico del electroventilador

MUNDO TÉCNICO

Componentes de una bomba de agua



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la función de la refrigeración en el motor.
- Analizarás la constitución y funcionamiento de los sistemas de refrigeración empleados en los motores.
- Conocerás la función que desempeña cada elemento del circuito de refrigeración.

situación de partida

Juan posee un coche con diez años de antigüedad al que hace regularmente el mantenimiento. Desde hace unos días nota que el indicador de temperatura marca por encima de lo habitual. Juan le comenta esta situación a su amigo José que ha realizado un ciclo formativo de grado medio de automoción, y le pide que le explique brevemente en qué consiste la refrigeración del motor. José le explica que mediante el sistema de refrigeración se extrae la cantidad de calor necesaria para que el motor se mantenga a una temperatura óptima de funcionamiento, de forma que se obtenga el máximo rendimiento sin perjudicar sus componentes.

Como medio para evacuar el calor se utiliza el aire y el líquido refrigerante.

En el sistema de refrigeración por agua, el líquido es movido por una bomba y se enfría en el radiador.

Los dispositivos para regular la temperatura son el termostato, con el cual se consigue un rápido calentamiento del motor, y el ventilador, que mantiene la temperatura del refrigerante dosificando el caudal de aire.

Finalmente le recomienda que verifique el nivel del líquido refrigerante. Cuando levanta el capó del vehículo comprueba que el nivel está muy bajo y además detecta una pequeña fuga en la conexión del manguito con el radiador, entonces decide llevar el coche al taller para repararlo y de paso cambiar el líquido refrigerante.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuál es la función del sistema de refrigeración?
2. ¿Qué tipos de refrigeración se emplean actualmente en los motores?
3. ¿Qué elementos componen el sistema de refrigeración por agua?
4. ¿Cómo se regula la temperatura del líquido refrigerante?
5. ¿Por qué es necesario el anticongelante?

1. Función de la refrigeración

Con el fin de obtener un buen **rendimiento térmico**, durante el proceso de combustión se generan temperaturas muy altas, pudiéndose superar de forma instantánea los 2.000 °C. La expansión y posterior expulsión de los gases quemados y la entrada de gases frescos evacuan parte de este calor. Sin embargo, las temperaturas siguen siendo tan altas que podrían originar grandes dilataciones y deformaciones permanentes si no se dispone de un sistema de refrigeración.

Los elementos más afectados por el calor son los que quedan próximos a la cámara de combustión: la parte alta del cilindro, la cabeza del pistón, la culata y las válvulas, especialmente la de escape. El calor pasa a través de ellos y debe ser evacuado hacia el exterior en cantidad suficiente para que queden protegidos, por esta razón deben ser buenos conductores del calor.

Temperatura de funcionamiento de algunos elementos del motor:

Válvula de escape	750 °C	Culata	300 °C
Válvula de admisión	350 °C	Segmentos	250 °C
Cabeza del pistón	350 °C	Cilindro	200 °C

1.1. Transmisión de calor

El calor se transmite a través de los cuerpos sólidos, de los líquidos y de los gases, y lo hace siempre desde un elemento más caliente a uno más frío.

La cantidad de calor transmitida a través de las paredes metálicas hasta el fluido refrigerante (aire o agua) depende de los siguientes factores:

- Coeficiente de conductividad del metal.

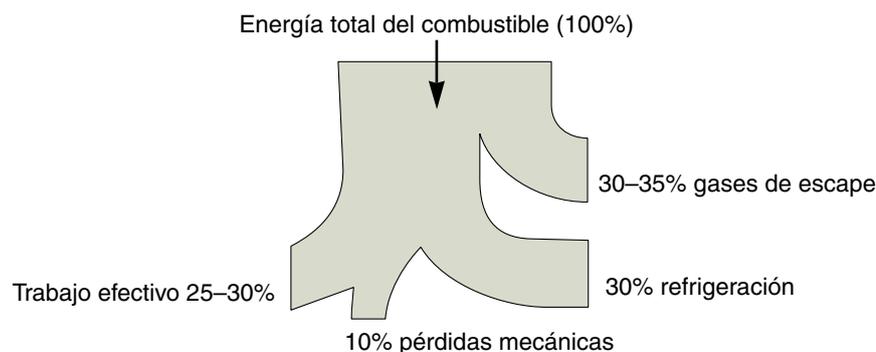
Las aleaciones de aluminio son mejores conductoras de calor que las de hierro.

- La superficie y espesor de la pared metálica.

El flujo de calor es más eficiente a medida que aumenta la superficie y disminuye el espesor.

- La diferencia de temperaturas entre la superficie metálica y el refrigerante.

Por término medio, el sistema de refrigeración evacua el 30% del calor (figura 16.1), y a través de los gases de escape del 30% al 35%, por lo que solamente, entre un 35% y un 40% del calor generado es convertido en trabajo. A esta cifra hay que restar las pérdidas mecánicas (10% aproximadamente).



→ **Figura 16.1.** Pérdidas de energía en el motor.

1.2. Refrigeración

La función de la refrigeración es mantener el motor dentro de unos límites de temperatura que no perjudiquen a sus componentes, y a la vez lograr un buen aprovechamiento del calor obtenido en la combustión.

La temperatura óptima de funcionamiento se denomina **temperatura de régimen**, en la cual se dan las condiciones más favorables para que el motor obtenga un buen rendimiento. Por lo tanto, el sistema de refrigeración debe permitir alcanzar esta temperatura con rapidez y mantenerla, independientemente de las condiciones ambientales.

Por debajo de la temperatura de régimen no es posible una buena gasificación del combustible y la lubricación es deficiente por encontrarse el aceite muy viscoso.

Con temperaturas superiores empeora la carga de los cilindros y aumenta el riesgo de autoencendido en los motores Otto. El aceite lubricante se fluidifica en exceso y se deteriora más rápidamente, además existe el riesgo de deformaciones o de gripado del motor.

Los sistemas utilizados habitualmente para realizar la refrigeración pueden ser de dos tipos:

- Refrigeración por aire.
- Refrigeración por agua.

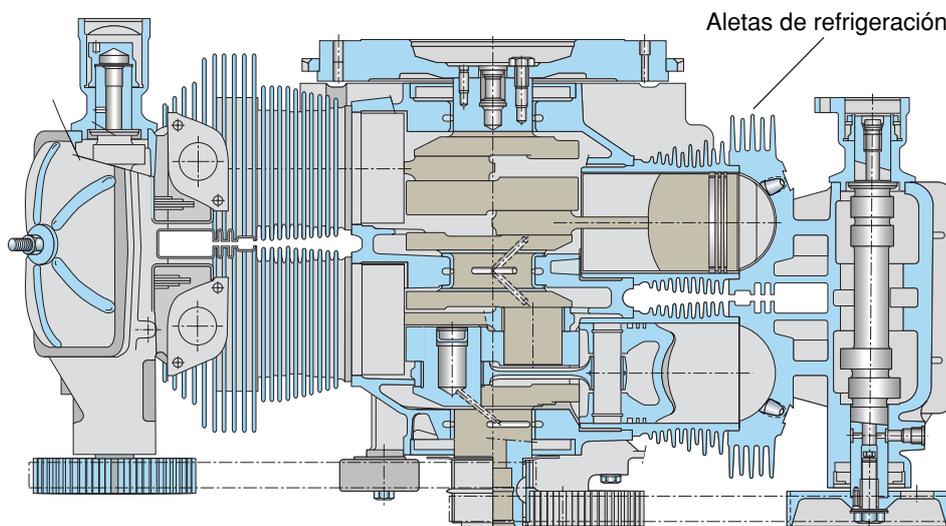
caso práctico inicial

Para proteger los elementos del motor es necesario extraer el exceso de calor.

2. Refrigeración por aire

En este tipo de refrigeración, el motor cede calor directamente al aire que se pone en contacto con él.

Para facilitar el acceso del aire, el bloque de estos motores está constituido por cilindros independientes. A su alrededor se funden unas aletas, cuyo objetivo es aumentar la superficie, tanto del cilindro como de la culata, lo que permite que haya más cantidad de aire en contacto con las zonas calientes (figura 16.2).



↑ Figura 16.2. Motor refrigerado por aire.

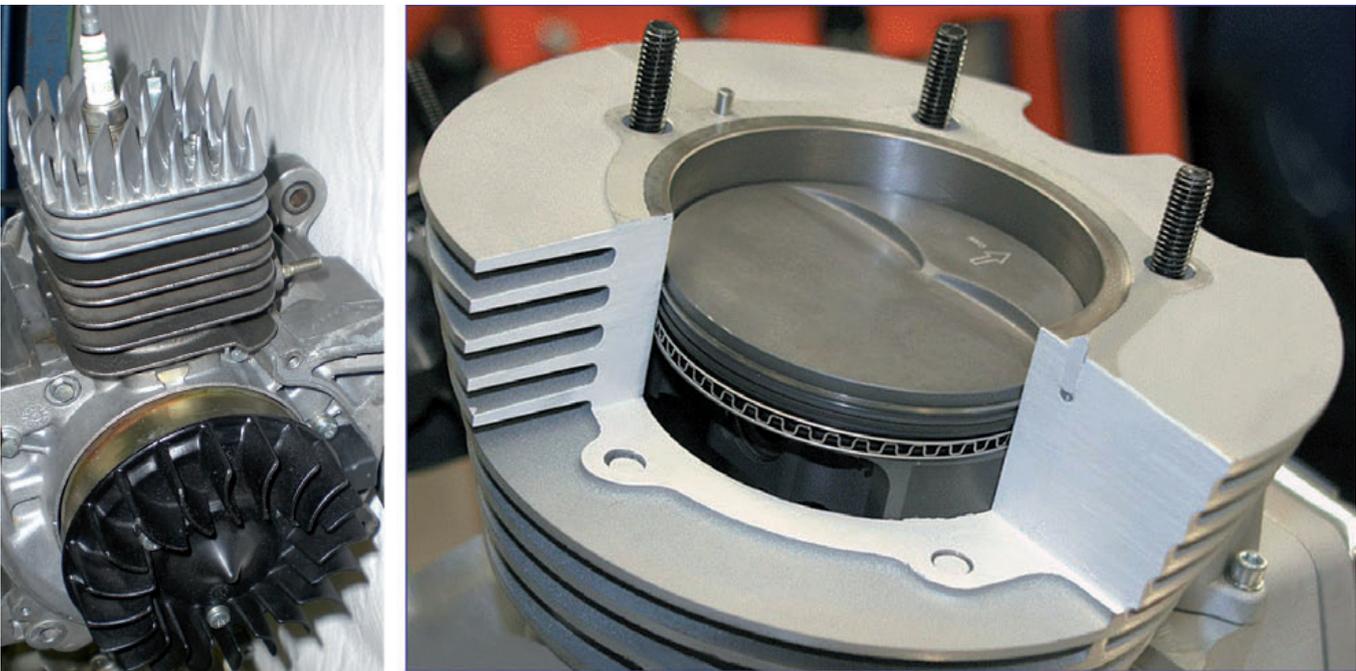
Las aletas se disponen sobre el motor de manera uniforme, sus dimensiones y formas dependen de las características del motor y de la cantidad de calor que deben evacuar (figura 16.3). Así, sobre la culata y la parte alta del cilindro, las aletas son de mayor tamaño y disminuyen en su parte baja.

La cantidad de calor evacuado no solo está en función de la superficie, sino también del volumen de aire que circula a través del motor. El suministro de aire se puede hacer de dos formas:

- Refrigeración por el aire de la marcha.
- Refrigeración por aire forzado.
- La **refrigeración por el aire de la marcha** se utiliza en motocicletas en las cuales el aire de la marcha tiene buen acceso a las partes calientes del motor. Este método es el más sencillo, puesto que no necesita ningún mecanismo adicional, pero tiene el inconveniente de que la refrigeración es irregular al tener que depender de la velocidad de la marcha.
- La **refrigeración por aire forzado** se monta en algunas motocicletas de tipo *scooter* y en automóviles donde el aire solamente tiene acceso al motor de manera forzada.

Un ventilador, movido desde el cigüeñal, crea una corriente de aire que es canalizada hasta los cilindros, de forma que el caudal de aire aumenta a medida que crecen las revoluciones, haciendo más efectiva la refrigeración.

El sistema puede incorporar un termostato, que regula el caudal de aire hacia los cilindros mediante trampillas, en función de la temperatura del motor.



↑ **Figura 16.3.** Cilindro refrigerado por aire.

Ventajas e inconvenientes de la refrigeración por aire

Se pueden destacar las siguientes ventajas e inconvenientes de este sistema.

Ventajas

- La principal ventaja es su sencillez, lo cual conlleva un menor número de averías, menor peso y menor coste de fabricación y mantenimiento.
- La temperatura de régimen se alcanza más rápidamente, por lo que se reducen los desgastes del funcionamiento en frío.
- Se mantienen temperaturas más altas, por lo que el rendimiento térmico es mayor.

Inconvenientes

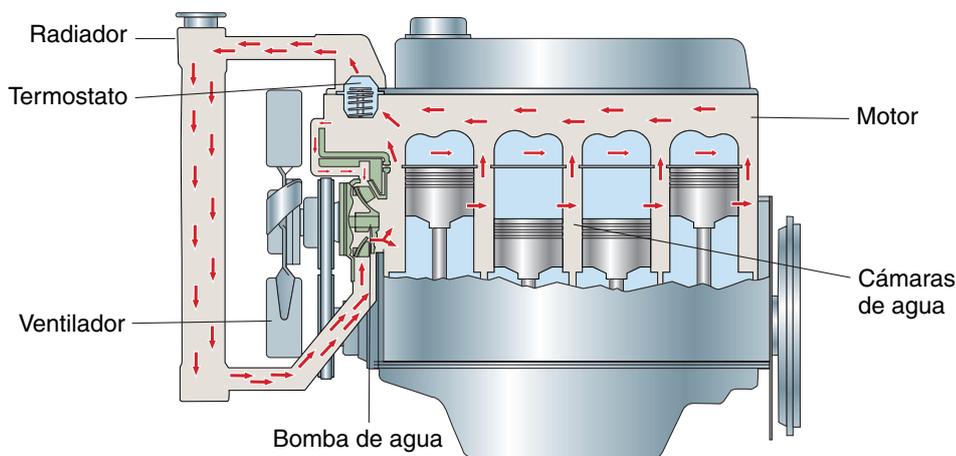
- Las mayores temperaturas obligan a aumentar el juego de montaje entre las piezas, los riesgos de autoencendido crecen y empeora el llenado de los cilindros.
- El motor es más ruidoso al no existir las cámaras de agua que amortiguan el ruido, por el contrario las aletas lo amplifican.

La refrigeración por aire es utilizada en motocicletas equipadas con motores de pequeña y mediana cilindrada de dos y cuatro tiempos; en automóviles su uso es muy poco frecuente, debido a que ofrece mayores ventajas la refrigeración por agua.

3. Refrigeración por agua

El sistema de refrigeración por agua utiliza un líquido a base de agua como medio para extraer el calor del motor y transportarlo hasta el radiador donde es cedido al aire. Este método tiene la ventaja de que proporciona una refrigeración más eficaz y uniforme permitiendo mantener la temperatura más estable.

El líquido refrigerante se desplaza por un circuito cerrado entre el motor y el radiador (figura 16.4). Este líquido es impulsado por una bomba centrífuga, que lo hace circular por las cámaras practicadas en el bloque alrededor de los cilindros, y por la culata, rodeando las cámaras de combustión. Parte del calor es transmitido al líquido que pasa al radiador y lo recorre cediendo calor al aire que lo atraviesa. La corriente de aire es suministrada por el ventilador y por el viento de la marcha. Una vez refrigerado, el líquido vuelve al motor para repetir el recorrido.



↑ **Figura 16.4.** Sistema de refrigeración por agua.

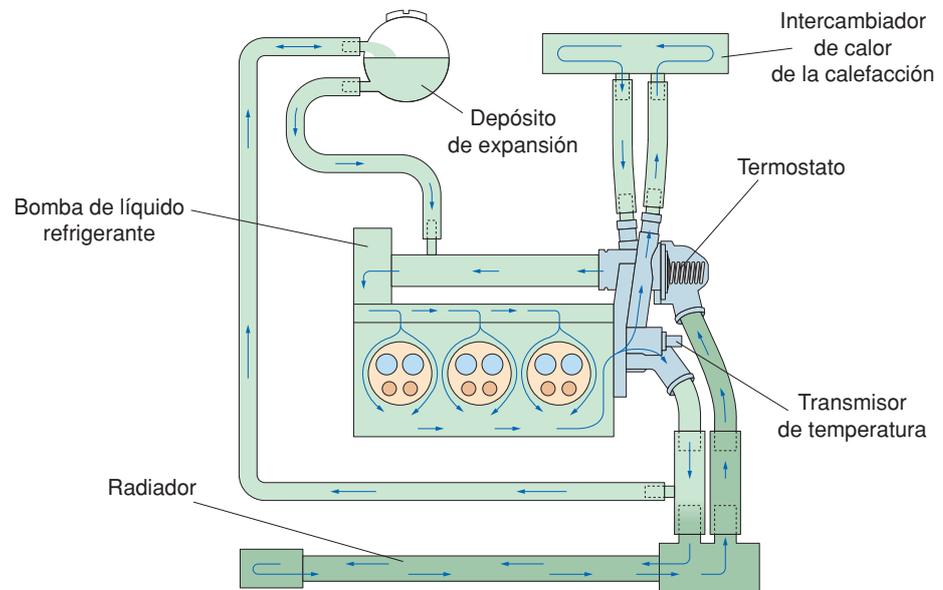
El paso del líquido a través del radiador provoca una diferencia de temperaturas entre la salida y la entrada al motor de 5° a 8 °C, de forma que no se somete a los materiales a excesivas tensiones térmicas.

El líquido de refrigeración puede ser utilizado con otros fines:

- Para calefacción del habitáculo.
- Calentamiento del colector de admisión.
- Refrigeración del aceite de engrase.
- Refrigeración del aceite del cambio automático.

El circuito de refrigeración por agua lo constituyen los siguientes elementos:

- La bomba.
- El radiador.
- El termostato.
- El ventilador.
- El líquido refrigerante.



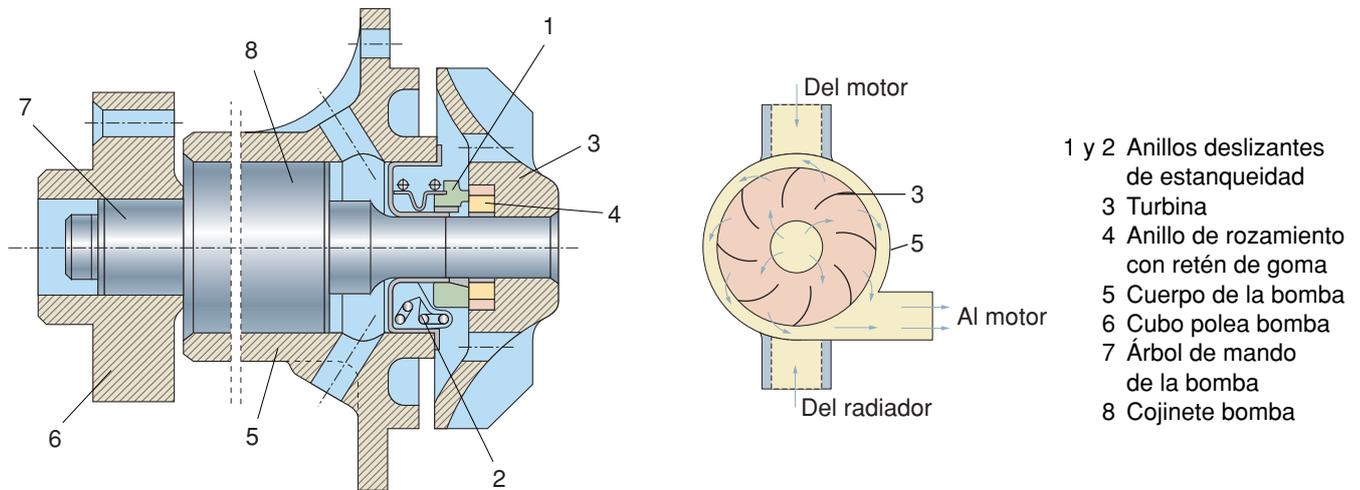
↑ **Figura 16.5.** Circuito de refrigeración por agua.

3.1. La bomba de agua

La bomba de agua impulsa el líquido de refrigeración, desplazándolo por el circuito. Es de tipo centrífugo y recibe movimiento del cigüeñal por medio de una correa.

El motor genera más calor a medida que aumenta el número de revoluciones. También el caudal de líquido que manda la bomba es mayor y permite aumentar la capacidad de refrigeración.

La bomba de agua (figura 16.6) está formada por un árbol de mando (7) que gira sobre cojinetes de bolas (8) y recibe movimiento a través de la polea que se monta sobre el cubo (6). En el otro extremo del árbol se encuentra el rotor o turbina (3), cuyas aletas, al girar, hacen circular el líquido. El conjunto va montado sobre el cuerpo de bomba (5). Con el fin de evitar fugas entre el cuerpo y el eje se disponen las juntas de estanqueidad (1 y 2).



- 1 y 2 Anillos deslizantes de estanqueidad
- 3 Turbina
- 4 Anillo de rozamiento con retén de goma
- 5 Cuerpo de la bomba
- 6 Cubo polea bomba
- 7 Árbol de mando de la bomba
- 8 Cojinete bomba

↑ **Figura 16.6.** Bomba del líquido refrigerante.

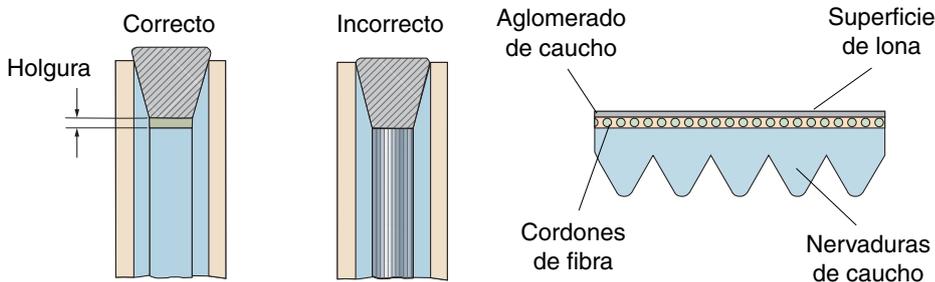
La bomba de agua se monta habitualmente sobre el bloque, a la altura de los cilindros, de manera que impulse el líquido procedente del radiador hacia el interior del motor. Esta posición permite que la bomba se encuentre siempre por debajo del nivel del líquido impidiendo el descebado.

El accionamiento de la bomba de agua puede hacerse a través de la correa de accesorios o de la correa de distribución.

La correa de accesorios puede ser del tipo trapezoidal, o de las denominadas poly V.

La **correa trapezoidal** (figura 16.7) se ajusta lateralmente a la garganta de la polea, dejando un espacio en el fondo que permite ser acuñada para asegurar la transmisión de fuerza. Si no existe esta holgura, la correa patina.

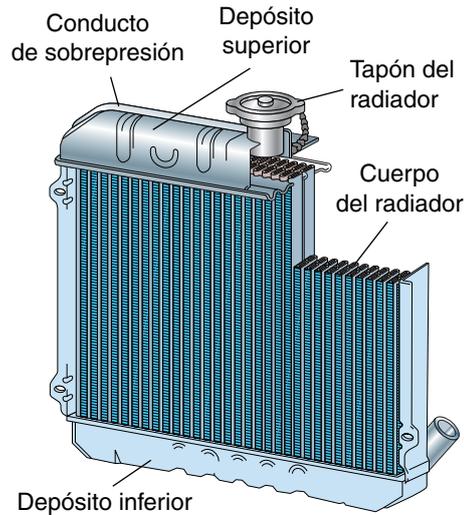
La **correa poly V** (figura 16.8) es más plana y presenta una serie de canales longitudinales, es muy flexible, tiene gran resistencia a la tracción y puede usarse por ambas caras. Actualmente son muy usadas como correas de accesorios; accionan además de la bomba de agua, el alternador, el compresor para el aire acondicionado, la bomba de la dirección asistida, etc.



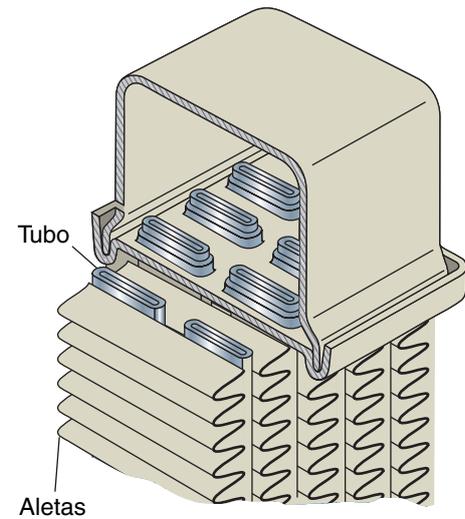
↑ **Figura 16.7.** Montaje de una correa trapezoidal. ↑ **Figura 16.8.** Estructura de una correa poly V.

3.2. El radiador

El radiador es un intercambiador de calor entre el líquido y el aire. El calor, transmitido al líquido refrigerante por el motor, es cedido en parte al aire a su paso por el radiador. Se sitúa sobre el vehículo de tal forma que pueda recibir el viento de la marcha. Adicionalmente se coloca un ventilador que suministra una corriente de aire.



↑ **Figura 16.9.** Constitución del radiador.



↑ **Figura 16.10.** Cuerpo del radiador.

La eficacia de un radiador depende principalmente de la superficie expuesta al aire y de su coeficiente de transmisión calorífica.

El radiador está formado por un cuerpo y dos depósitos (figura 16.9). El cuerpo del radiador lo componen unos finos tubos que comunican ambos depósitos (figura 16.10). Entre los tubos se sueldan unas aletas cuya misión es aumentar la superficie en contacto con el aire, el agua que circula por los tubos cede su calor a través de las aletas. Sobre los depósitos se instalan la toma de entrada y la de salida de líquido y la boca de llenado.

Los tubos y aletas del radiador pueden ser de latón o cobre, aunque actualmente la mayoría se fabrican de aluminio por ser un material con buena conductividad térmica, ligero y que permite un laminado muy fino.

Los depósitos, que antes se fabricaban de chapa de latón, ahora son generalmente de plástico y van engarzados con interposición de una junta (figura 16.11).

Los radiadores pueden ser de **flujo vertical** o de **flujo transversal**, dependiendo del sentido en que se desplaza el líquido en su interior.

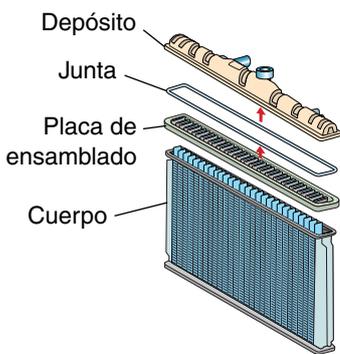
En los de flujo vertical los depósitos se sitúan en las partes superior e inferior y el líquido pasa de arriba abajo.

En los radiadores de flujo transversal los depósitos se colocan a los lados y el líquido se desplaza horizontalmente (figura 16.12). Tienen la ventaja de que permiten adaptarse al bajo frontal de los automóviles. Actualmente se impone por motivos aerodinámicos y de diseño.

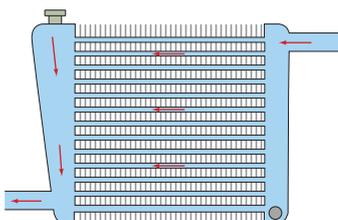
Los radiadores más usados son los de flujo transversal, con los tubos y aletas de aluminio y los depósitos de plástico. El resultado es un conjunto resistente, ligero y con buenas cualidades para transmitir el calor.

Los conductos de unión entre el radiador y el motor son **manguitos de goma** con inserciones de fibras textiles; son resistentes al calor y muy flexibles. Absorben las vibraciones y los movimientos del motor respecto al radiador. La estanqueidad de los manguitos queda asegurada mediante abrazaderas.

Tanto las dimensiones del radiador como el caudal de la bomba se calculan para obtener una refrigeración adecuada a las características del motor.



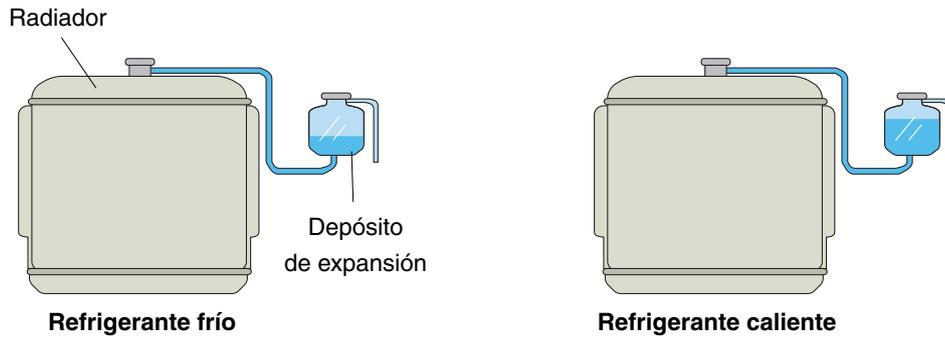
↑ **Figura 16.11.** Ensamblado del depósito del radiador.



↑ **Figura 16.12.** Radiador de flujo transversal.

Circuito de refrigeración presurizado

El circuito de refrigeración es totalmente hermético, se llena con líquido refrigerante y se extrae el aire. El líquido sufre una dilatación cuando se calienta de modo que aumenta la presión interior y se contrae al enfriarse. Para compensar estos cambios de volumen se añade al circuito un **depósito o vaso de expansión** (figura 16.13) comunicado con el radiador. La entrada y salida de líquido está controlado por una **válvula de sobrepresión y otra de depresión** que se disponen en el tapón del radiador o bien en el tapón del propio depósito de expansión.



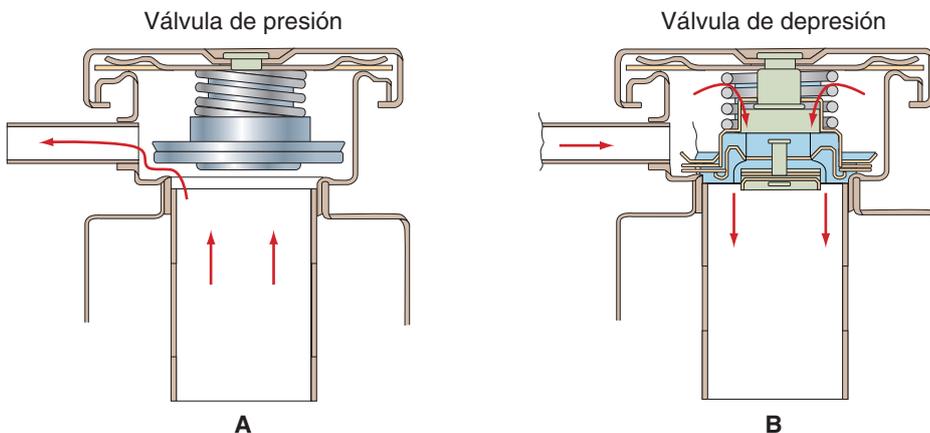
↑ Figura 16.13. Depósito de expansión.

La válvula de sobrepresión está tarada, según el tipo de motor, entre 1 y 1,6 bar. Esto permite conseguir temperaturas de 110 a 120 °C sin que se produzca ebullición. La válvula de depresión abre con una presión negativa de 0,1 a 0,2 bar. El depósito de expansión contiene líquido hasta un nivel de, aproximadamente, la mitad de su volumen con el fin de que pueda admitir líquido procedente del radiador.

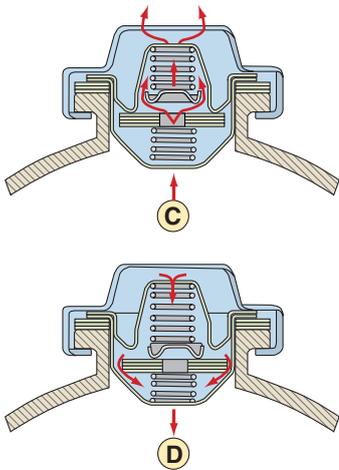
Válvulas sobre el tapón del radiador

Cuando el líquido se calienta (figura 16.14) aumenta la presión, la válvula se abre (A) y el líquido pasa en forma de vapor al depósito de expansión a través del tubo de unión.

Cuando la temperatura del líquido descende, el volumen se contrae, creando un vacío en el interior del circuito. En este momento se abre la válvula de depresión (B) lo que permite el retorno del líquido al radiador, donde se restablece la presión. El vaso expansor va comunicado a la atmósfera, con lo cual al variar el nivel la presión interna no cambia.



↑ Figura 16.14. Válvulas sobre el tapón del radiador.



↑ **Figura 16.15.** Válvulas sobre el tapón del depósito de expansión.

Válvulas sobre el tapón del depósito de expansión

En este caso (figura 16.15) también el depósito queda presurizado, de modo que cuando llega líquido procedente del radiador, sube el nivel creándose una presión interna. Si llega a superarse la presión de tarado de la válvula, esta se abre (C) liberando aire al exterior. A medida que el refrigerante se va enfriando, la presión hace que pueda regresar el líquido al radiador. Si se ha expulsado aire durante la expansión, se creará ahora un vacío que abrirá la válvula de depresión (D), que comunica con el exterior, permitiendo restablecer la presión interna.

De esta forma se mantiene la presión en el circuito dentro de unos límites sin pérdidas de líquido.

3.3. El termostato

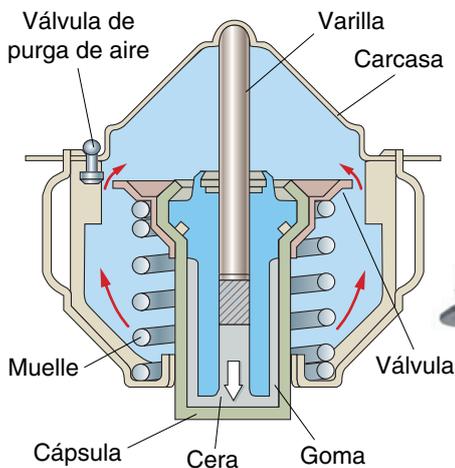
Durante el funcionamiento del motor en frío es cuando se producen los mayores desgastes y el consumo de combustible es más elevado. Por lo tanto, es preciso que, una vez puesto en marcha, alcance su temperatura de régimen lo más rápidamente posible (entre 80° y 90 °C). Con este fin se intercala en el circuito de refrigeración el termostato.

El termostato es una válvula térmica que controla el paso de líquido entre el motor y el radiador, de manera que solo cuando el refrigerante ha alcanzado la temperatura adecuada (unos 85 °C), se abre dejándolo pasar al radiador.

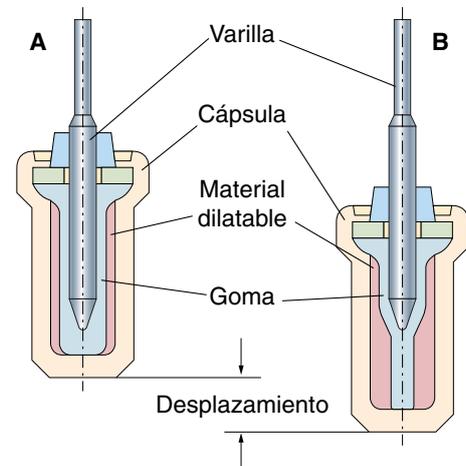
Constitución y funcionamiento

Está formado (figura 16.16) por una cápsula cerrada herméticamente que contiene cera. En su interior se introduce una varilla, que queda rodeada por una membrana de goma, por el otro extremo, la varilla se apoya en la carcasa del termostato. Unida a la cápsula se encuentra la válvula que se mantiene cerrada en frío por la fuerza del muelle.

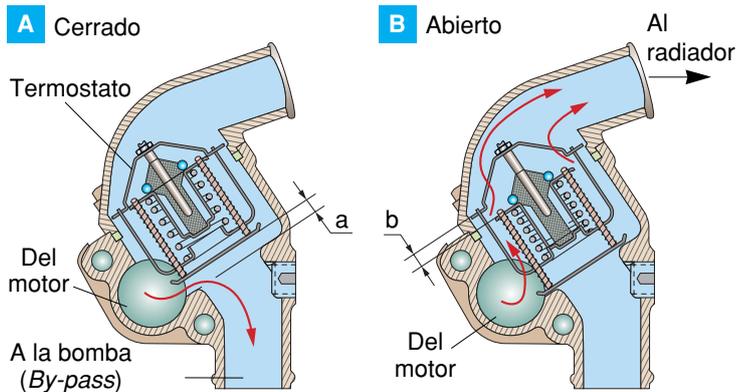
Su funcionamiento se basa en el elevado coeficiente de dilatación que poseen ciertos materiales como la cera o la parafina. Cuando el líquido refrigerante calienta la cápsula que contiene la cera, esta se dilata, comprime la goma y expulsa la varilla (figura 16.17). Como la varilla hace tope en la carcasa, se desplaza la cápsula que vence la fuerza del muelle y abre la válvula.



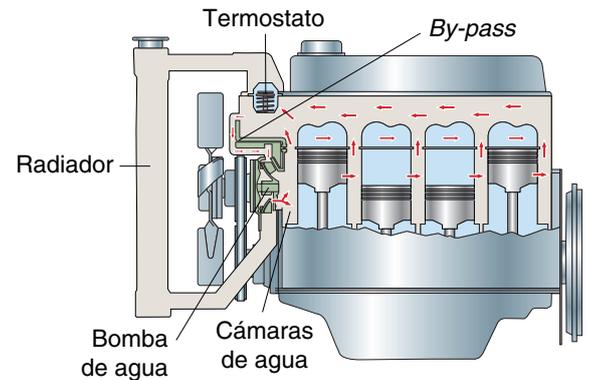
↑ **Figura 16.16.** Termostato.



↑ **Figura 16.17.** Cápsula del termostato en sus dos posiciones. A Frío. B Caliente.



↑ Figura 16.18. Funcionamiento del termostato.



↑ Figura 16.19. Termostato cerrando el paso hacia el radiador.

Generalmente la válvula comienza a abrirse entre los 80° y los 86 °C y se encuentra totalmente abierta entre los 95° y los 100 °C, con un desplazamiento de la válvula entre ambas posiciones de 7 a 8 mm.

El circuito controlado por el termostato funciona de la siguiente manera:

Cuando la temperatura del refrigerante es baja, el termostato mantiene cerrado el paso de líquido al radiador (A-figura 16.18), y únicamente circula por el interior del motor, logrando que se caliente con rapidez (figura 16.19). Cuando se alcanza la temperatura de apertura, la válvula comienza a abrirse progresivamente hasta completar su recorrido máximo (B-figura 16.18). De manera que el líquido puede pasar al radiador.

En caso de que la temperatura ambiente sea muy baja y disminuya la temperatura del refrigerante, el termostato cierra parcialmente, desviando sólo una parte hacia el radiador y el resto circula por el interior del motor. De esta forma se mantiene la temperatura de régimen durante el funcionamiento del motor.

caso práctico inicial

El termostato consigue elevar rápidamente la temperatura del líquido.

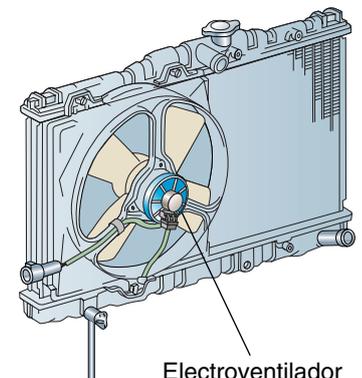
3.4. El ventilador

El ventilador suministra una corriente de aire, que unida a la que origina la marcha del vehículo, pasa a través del radiador e intercambia su temperatura con el líquido refrigerante (figura 16.20).

El ventilador se fabrica generalmente de material plástico, el caudal que suministra está en función de su diámetro, del número de palas, de la inclinación de estas y de la velocidad de giro. La distribución de las palas se hace de forma asimétrica para evitar el zumbido cuando gira a elevadas revoluciones.

El ventilador se puede situar por delante del radiador (soplante) o por detrás (aspirante). La corriente creada por el ventilador atraviesa el radiador y después se dirige al motor, ventilando sus elementos externos. En ocasiones, el aire se canaliza mediante una cubierta que envuelve al ventilador dirigiendo la corriente para evitar que se disperse.

El caudal y la velocidad de la corriente de aire son factores que determinan la cantidad de calor extraída al radiador. Por tanto, el ventilador se utiliza como elemento regulador de la temperatura del motor, para lo cual su accionamiento ha de estar en función de la temperatura del líquido refrigerante, independientemente del número de revoluciones del motor.



↑ Figura 16.20. Electroventilador montado sobre el radiador.

Electroventilador

Se llama así al ventilador movido por un motor eléctrico (figura 16.21) cuya potencia depende de las características del ventilador (de 80 a 150 W). Si el vehículo va equipado con aire acondicionado esta potencia se triplica (300 a 400 W).

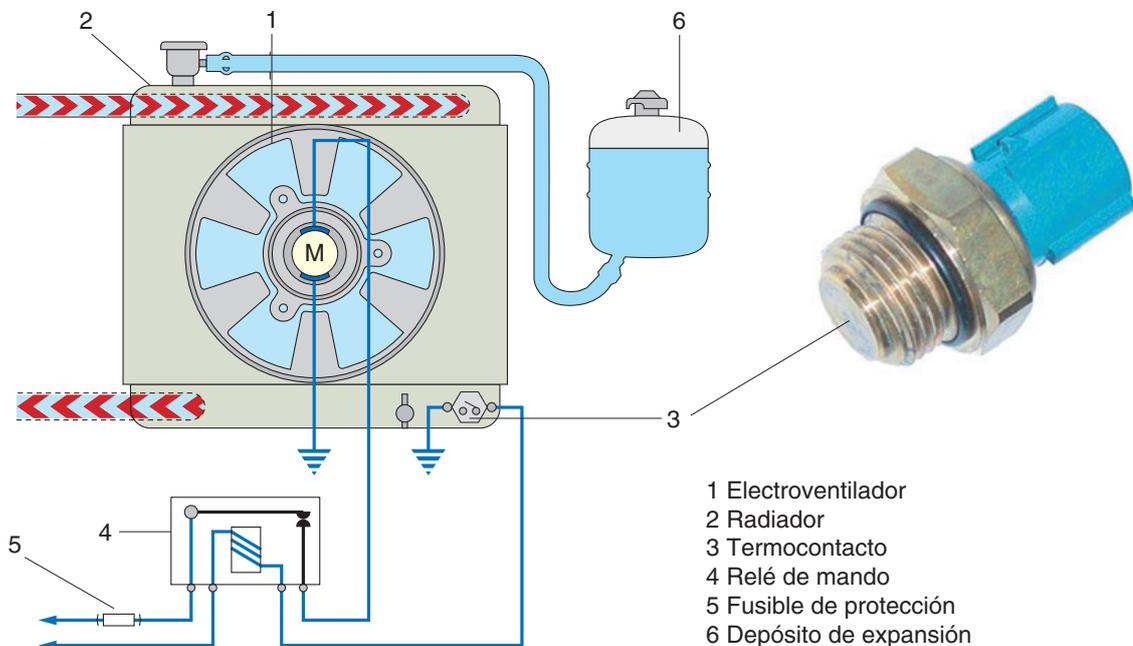


↑ **Figura 16.21.** Componentes del electroventilador.

El ventilador se conecta y desconecta automáticamente mediante un interruptor térmico, tarado para la conexión entre 90 y 98 °C y la desconexión de 82 a 90 °C. Esta diferencia de 5 a 8 °C evita la excesiva frecuencia de accionamiento entre ambas posiciones.

El circuito eléctrico (figura 16.22) se compone de un termocontacto, un relé y el propio motor eléctrico.

El termocontacto consta de un elemento bimetalico que al calentarse se curva y cierra un contacto eléctrico. Se monta roscado con la junta de estanqueidad, en el depósito de salida del radiador, y su extremo va sumergido en el líquido con el objetivo de detectar su temperatura.



↑ **Figura 16.22.** Componentes del electroventilador.

Funcionamiento

Hasta que el refrigerante alcanza la temperatura fijada, el termocontacto permanece abierto y el motor no recibe corriente. Cuando se llega a dicho valor de temperatura, el termocontacto cierra. El circuito de mando del relé se activa y se cierran sus contactos principales, de esta forma el motor del ventilador queda alimentado. El ventilador funciona mientras la temperatura del refrigerante está por encima del valor fijado para la desconexión. De este modo se realiza la regulación de temperatura, haciendo funcionar el ventilador solamente cuando es necesario.

Posibles sistemas de montaje del electroventilador

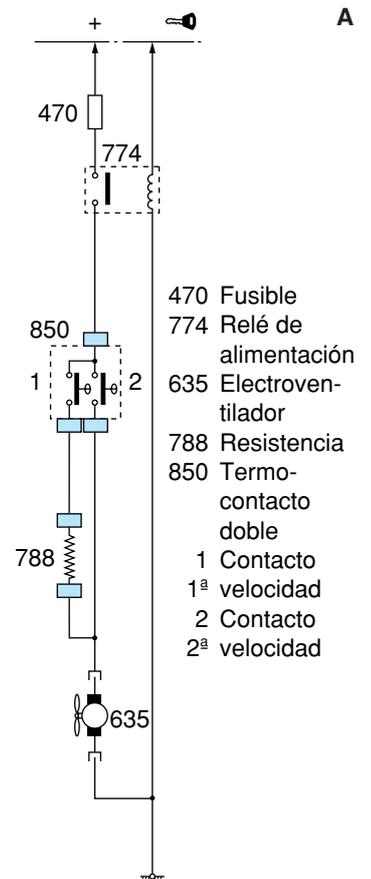
Dadas las diferentes necesidades de refrigeración según el tipo de motor (gasolina, turbodiésel, etc.) y del equipamiento del vehículo (aire acondicionado), actualmente se montan uno o dos ventiladores, que pueden ser accionados a dos velocidades.

Los dispositivos con dos velocidades están controlados por un termocontacto doble con funcionamiento escalonado. En la figura (16.23 A) se representa el esquema eléctrico de un electroventilador de este tipo.

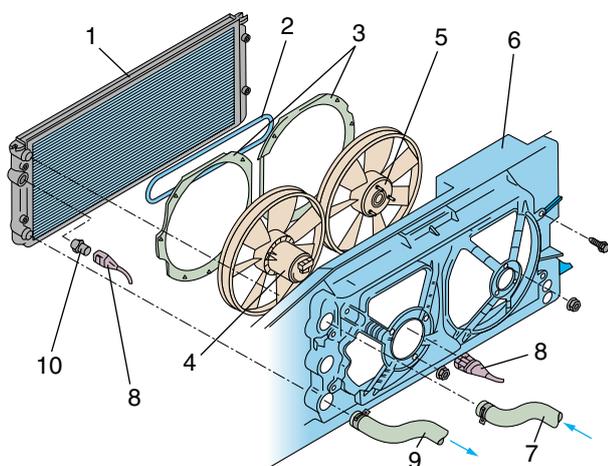
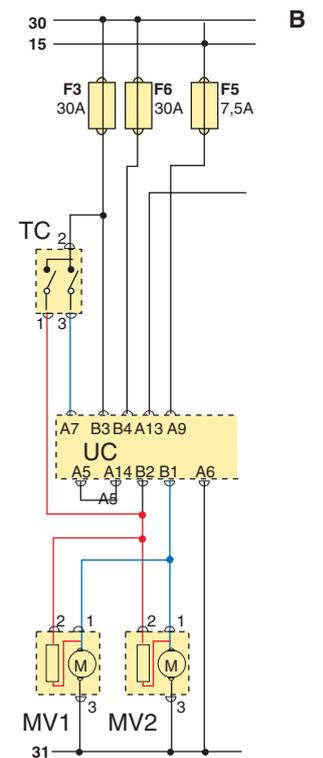
Cuando se alcanza cierta temperatura se cierra un primer contacto (1) quedando alimentado el electroventilador a través de la resistencia en serie (788). En caso de que la temperatura del líquido siga aumentando, se cierra el segundo contacto (2). Ahora el motor del ventilador recibe corriente directamente de la batería sin pasar por la resistencia, de forma que el motor gira a mayor velocidad.

Hay varias posibilidades para el montaje del electroventilador:

- **Un ventilador con una sola velocidad.**
- **Un ventilador con dos velocidades.** Si con el ventilador funcionando a baja velocidad, la temperatura del refrigerante pasa, por ejemplo, de 100 °C, se conecta una segunda velocidad más rápida.
- **Dos ventiladores con dos velocidades** (figura 16.23 B). Consta de un termocontacto doble (TC) y dos motoventiladores (MV) con resistencia en serie para baja velocidad.
- **Dos ventiladores con funcionamiento escalonado.** Van provistos de un motor para cada ventilador y funcionan independientemente. Uno solo o los dos, cuando la temperatura sobrepasa el límite fijado, que se encuentra en unos 100 °C.
- **Dos ventiladores unidos por correa** (figura 16.24). Un motor mueve un ventilador y este le transmite el giro a otro mediante una correa. Puede ser de una o de dos velocidades.



- 470 Fusible
- 774 Relé de alimentación
- 635 Electroventilador
- 788 Resistencia
- 850 Termocontacto doble
- 1 Contacto 1ª velocidad
- 2 Contacto 2ª velocidad



- 1 Radiador
- 2 Correa trapezoidal
- 3 Anillo guía
- 4 Motor para ventilador
- 5 Ventilador adicional
- 6 Soporte del cierre
- 7 Tubo flexible superior para líquido refrigerante
- 8 Conector terminal de cables
- 9 Tubo flexible inferior para líquido refrigerante
- 10 Termointerruptor

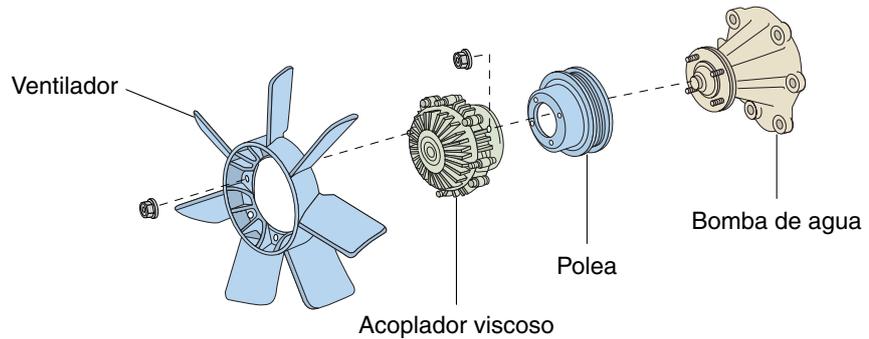
↑ Figura 16.24. Sistema de dos ventiladores unidos por correa.

↑ Figura 16.23. Esquemas eléctricos de los electroventiladores.

Ventilador de acoplamiento viscoso

Mediante este sistema se consiguen dos velocidades de rotación del ventilador en función de la temperatura del aire que pasa a través del radiador.

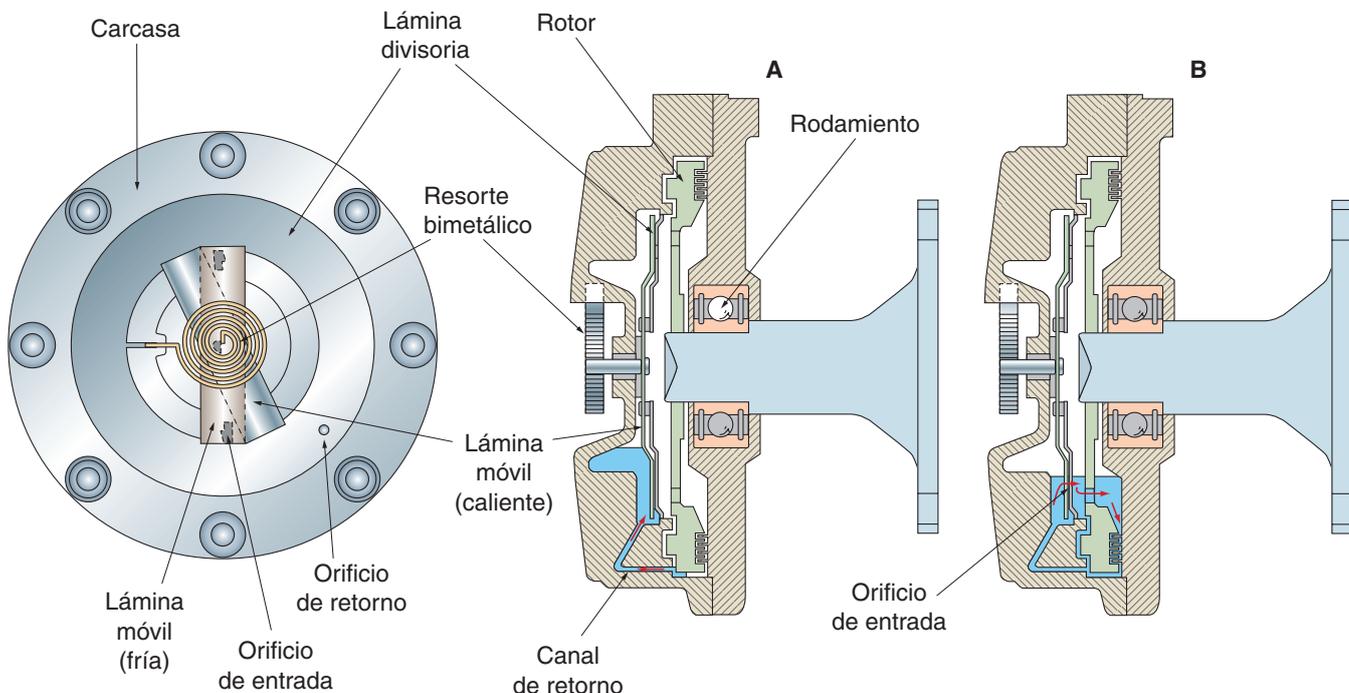
El dispositivo (figura 16.25) va montado sobre el eje de la bomba de agua, de forma que queda expuesto al aire que atraviesa el radiador. Este ventilador recibe movimiento desde la polea del cigüeñal, a través de una correa. Como medio de acoplamiento entre el eje y el ventilador se utiliza aceite de silicona.



↑ **Figura 16.25.** Ventilador de acoplamiento viscoso.

Constitución y funcionamiento

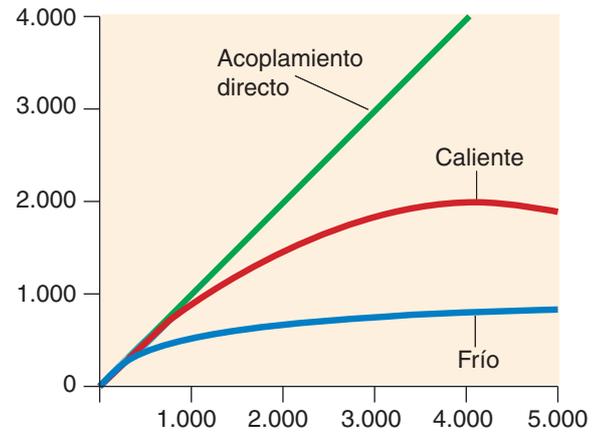
Se compone (figura 16.25) de un rotor interior dotado de paletas que recibe el movimiento de la polea a través del eje. El ventilador va unido a la carcasa que gira libre sobre un rodamiento. En su interior se forma, por un lado, la cámara de acoplamiento y, por el otro, se monta el dispositivo que controla la entrada del aceite de silicona a dicha cámara. El mecanismo está formado por una lámina divisoria que contiene los orificios de entrada y una lámina móvil unida al resorte bimetalítico, que abre y cierra los orificios en función de la temperatura del aire procedente del radiador.



↑ **Figura 16.26.** Operación de apertura y cierre del orificio de entrada.

↑ **Figura 16.27.** A. Entrada de aceite cerrada. B. Entrada de aceite abierta.

- Cuando la temperatura del aire que pasa a través del radiador es baja (figura 16.26), la lámina móvil mantiene cerrados los orificios de entrada debido a la fuerza del resorte bimetálico. En esta situación las paletas del rotor expulsan el aceite de silicona fuera de la cámara de acoplamiento a través del orificio y canal de retorno (figura 16.27 A). Al no haber aceite se produce resbalamiento, como consecuencia, la velocidad del ventilador es baja. Por ejemplo, si el eje gira a 3.000 rpm, el ventilador gira a 800 rpm.
- Cuando la temperatura del aire que pasa a través del radiador es alta (figura 16.26), el resorte bimetálico desplaza a la lámina móvil descubriendo los orificios de entrada, entonces el aceite de silicona circula a través de la cámara de acoplamiento impulsado por las paletas del rotor (figura 16.27 B). Ahora el resbalamiento entre el rotor y la carcasa es menor, por lo que aumenta la velocidad del ventilador. Por ejemplo, si el eje gira a 3.000 rpm, el ventilador gira a 2.000 rpm (figura 16.28), velocidad suficiente para refrigerar el líquido del radiador.



↑ Figura 16.28. Relación de velocidad entre el ventilador y el eje.

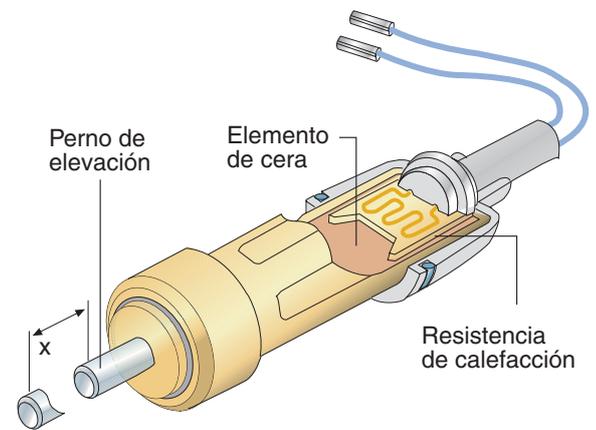
3.5. Refrigeración con regulación electrónica

La regulación electrónica de la refrigeración permite ajustar la temperatura del motor en función de la carga.

- Con cargas altas se reduce la temperatura para mejorar el llenado de los cilindros ya que el aire aspirado se calienta menos.
- Temperaturas más altas con cargas medias permiten aumentar la potencia del motor.

Se consigue así una reducción en el consumo y en las emisiones contaminantes.

A través de la unidad de control del motor se regula la temperatura óptima actuando sobre dos dispositivos, un termostato calefactable eléctricamente y sobre los electroventiladores.



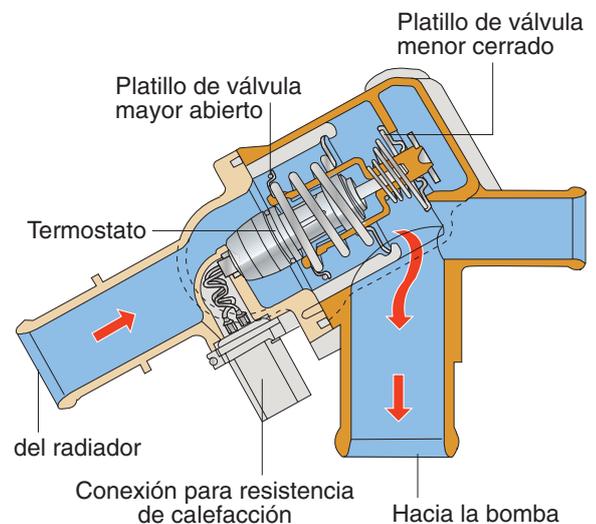
↑ Figura 16.29. Termostato de cera con resistencia de calefacción.

Termostato con resistencia de calefacción

El termostato de materia dilatante incorpora una resistencia de calefacción (figura 16.29). La apertura no solo se produce por la temperatura del líquido de refrigeración, sino también debido a la corriente suministrada a la resistencia. La regulación de la apertura del termostato se realiza desde la unidad de control del motor de acuerdo con un conjunto de características previamente memorizadas que mantiene la temperatura más adecuada en función de la carga del motor (figura 16.30).

Bomba de agua eléctrica

Este tipo de bomba es accionada por un motor eléctrico impulsado desde el sistema que gestiona la temperatura del motor. De modo que puede adecuar en todo momento el caudal de líquido según las necesidades de refrigeración, independientemente de las revoluciones del motor. Con motor frío la bomba gira muy lentamente con lo que se consigue reducir considerablemente la fase de calentamiento del motor.

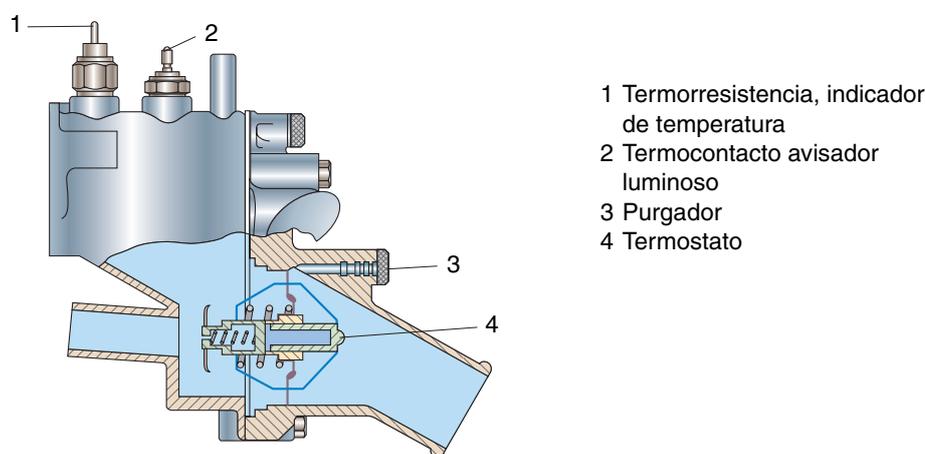


↑ Figura 16.30. El termostato regula el paso de líquido al radiador.

Indicador de temperatura

El sistema de refrigeración está calculado para que la temperatura del motor no sobrepase unos límites máximos fijados, de ser así se pueden producir graves averías como gripado, deformaciones en la culata, etc.

El indicador de temperatura consta de un captador y de un aparato de medida. El captador se coloca sobre la caja del termostato (1-figura 16.31), consiste en una termorresistencia que varía su valor óhmico en función de la temperatura. La diferencia entre la tensión de entrada y la de salida, cuando es alimentada a través de la llave de contacto, representa el valor de la temperatura. Esta información pasa al aparato de medida, situado sobre el tablero de instrumentos, que mediante un dispositivo electromagnético indica la temperatura del líquido de refrigeración. Además se dispone de un indicador luminoso que se enciende si la temperatura del motor es excesiva (entre 105° y 115 °C).



↑ **Figura 16.31.** Caja del termostato.

En algunos vehículos solo se monta el **avisador luminoso**. Consta de un termocontacto, similar al que acciona el electroventilador (2-figura 16.31), que va montado generalmente sobre la caja del termostato. En caso de llegar a la temperatura de tarado, se cierra el circuito que alimenta la lámpara y se enciende el avisador en el tablero.

Como complemento se puede instalar un indicador de nivel de líquido refrigerante cuyo detector se monta en el depósito de expansión o bien en el radiador.

3.6. El líquido refrigerante

El empleo de agua como líquido de refrigeración presenta ciertos inconvenientes, el mayor de ellos es que para temperaturas inferiores a 0 °C se congela y aumenta su volumen, lo que puede dar lugar a graves averías en el circuito, pudiendo aparecer grietas en el bloque de cilindros o en el radiador. Otro inconveniente del agua es su acción oxidante en las partes metálicas, además de los altos contenidos calcáreos, que producen incrustaciones que reducen la capacidad de transmitir el calor.

Anticongelante

El líquido de refrigeración utilizado en los motores también se denomina anticongelante por ser esta su función más conocida.

Es un preparado, mezcla de agua y diversos aditivos, los cuales tratan principalmente de conseguir las siguientes características:

- Rebajar el punto de congelación.
- Proteger a los metales de la corrosión.
- Evitar la formación de espuma.

El principal aditivo es el anticongelante, compuesto por glicerina o alcohol. El producto más utilizado es etilenglicol. El punto de congelación se determina según el porcentaje de este elemento. Se añaden en proporciones menores otros aditivos anticorrosivos y antiespumantes.

PUNTO DE CONGELACIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE ANTICONGELANTE	
Anticongelante puro (%)	Punto de congelación (°C)
20	-10
33	-18
44	-30
50	-36

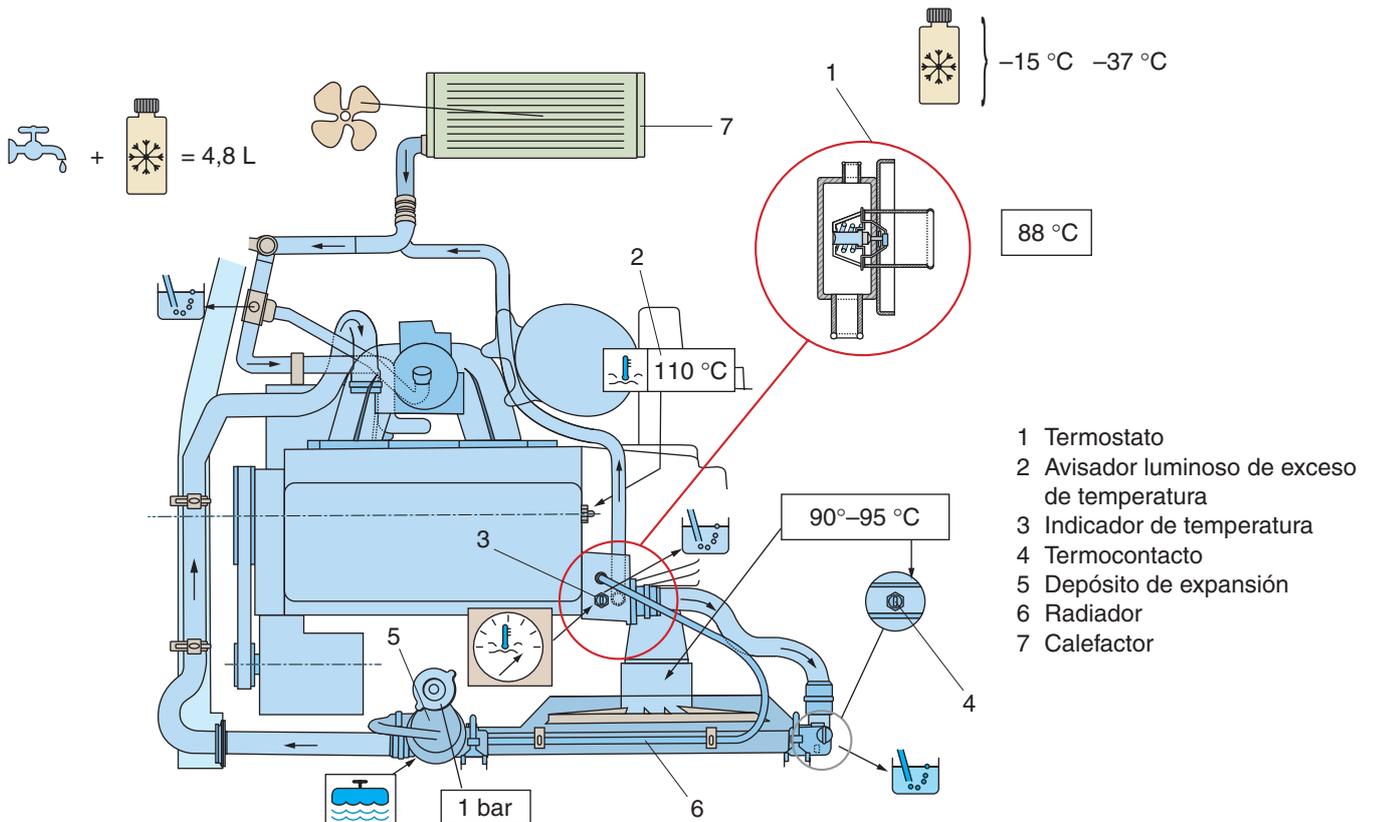
Se aconseja utilizar protección de -18 °C (33%) en zonas templadas y protección de -36 °C (50%) en zonas muy frías.

Los anticongelantes se comercializan ya preparados, y sobre el envase se indica su temperatura de congelación y sus características.

Con el fin de mantener el líquido en buen estado se recomienda la sustitución cada dos o tres años.

caso práctico inicial

El líquido refrigerante se debe cambiar en los periodos recomendados.



↑ **Figura 16.32.** Características de funcionamiento de un circuito de refrigeración.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Qué es la temperatura de régimen del motor?
- 2. ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene la refrigeración por aire?
- 3. Explica el funcionamiento del sistema de refrigeración por aire forzado.
- 4. ¿Cómo está constituida y qué misión tiene la bomba en el circuito de refrigeración por agua?
- 5. ¿Qué tipos de radiadores existen y qué materiales se emplean para su fabricación?
- 6. ¿Cuál es la diferencia de temperaturas entre la salida y la entrada de líquido en el motor?
- 7. ¿Qué función tiene el depósito de expansión en el circuito?
- 8. Explica el funcionamiento de un electroventilador.
- 9. ¿Cuáles son las temperaturas habituales de conexión y desconexión del electroventilador?
- 10. ¿Qué misión cumple el termostato en el circuito?
- 11. ¿A qué temperatura, por término medio, comienza a abrirse el termostato?
- 12. Explica el funcionamiento de un ventilador de acoplamiento viscoso.
- 13. ¿Qué cualidades debe reunir el líquido refrigerante?
- 14. ¿Qué porcentaje de anticongelante puro se necesita para conseguir un punto de congelación de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Qué temperatura media puede alcanzar la culata durante el funcionamiento?

- a) 300 °C
- b) 500 °C
- c) 1.000 °C
- d) 100 °C

2 ¿Qué porcentaje de calor es evacuado a través del sistema de refrigeración?

- a) 5 %
- b) 10 %
- c) 20 %
- d) 30 %

3 La temperatura óptima de funcionamiento de un motor se denomina...

- a) Temperatura de refrigeración.
- b) Temperatura específica.
- c) Temperatura de régimen.
- d) Temperatura del termostato.

4 En un sistema de refrigeración por aire, ¿qué misión tienen las aletas de refrigeración?

- a) Aumentar el caudal de aire.
- b) Aumentar la superficie de contacto con el aire.
- c) Forzar el paso de aire a través del motor.
- d) Filtrar el aire de refrigeración.

5 ¿A qué sobrepresión suele abrirse la válvula del depósito de expansión?

- a) Entre 0,1 y 3 bar.
- b) Entre 1 y 1,6 bar.
- c) Entre 3 y 5 bar.
- d) Entre 10 y 15 bar.

6 ¿Qué elementos del circuito de refrigeración son los encargados de conseguir y mantener la temperatura de régimen del motor?

- a) El termostato y el ventilador.
- b) El tapón del radiador y la bomba.
- c) El vaso de expansión y la correa de accesorios.
- d) El termocontacto y las válvulas del tapón.

7 ¿Qué elemento conecta y desconecta el electroventilador?

- a) El termostato.
- b) La válvula de sobrepresión.
- c) El termocontacto.
- d) Una termorresistencia.

8 ¿Qué punto de congelación tiene un líquido de refrigeración que contiene el 50% de anticongelante puro?

- a) -10 °C
- b) -26 °C
- c) -30 °C
- d) -36 °C

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller.

MATERIAL

- Vehículo o motor con circuito de refrigeración.
- Documentación técnica.

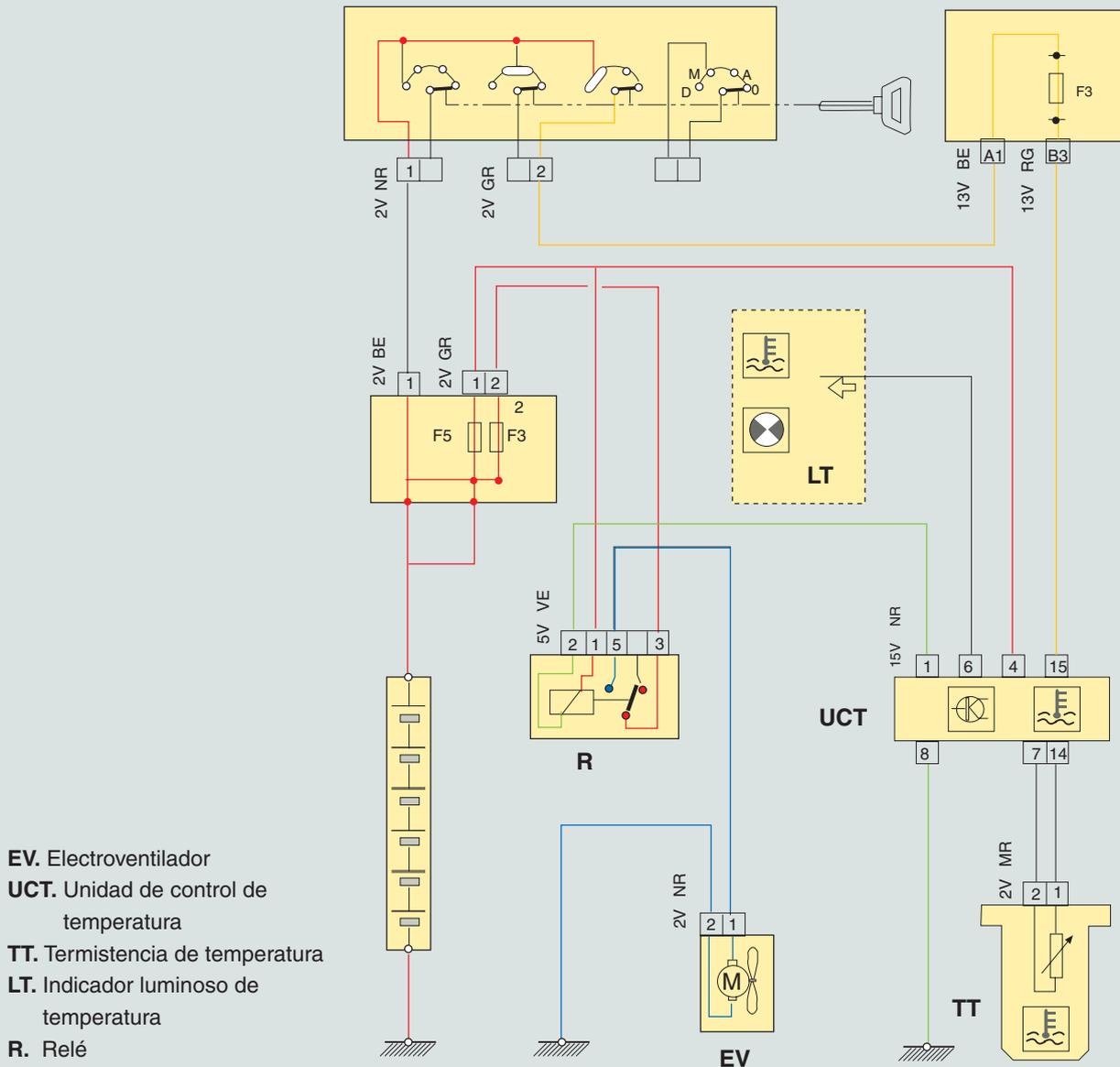
Circuito eléctrico del electroventilador

OBJETIVO

Estudiar los componentes y el funcionamiento del circuito de accionamiento del electroventilador.

DESARROLLO

Localizar en la documentación técnica el circuito eléctrico del sistema de refrigeración.



↑ **Figura 16.33.**

Unidad de control de temperatura de agua (UCT)

Está conectada con la termistancia de temperatura (TT) a través de las vías 7 y 14.

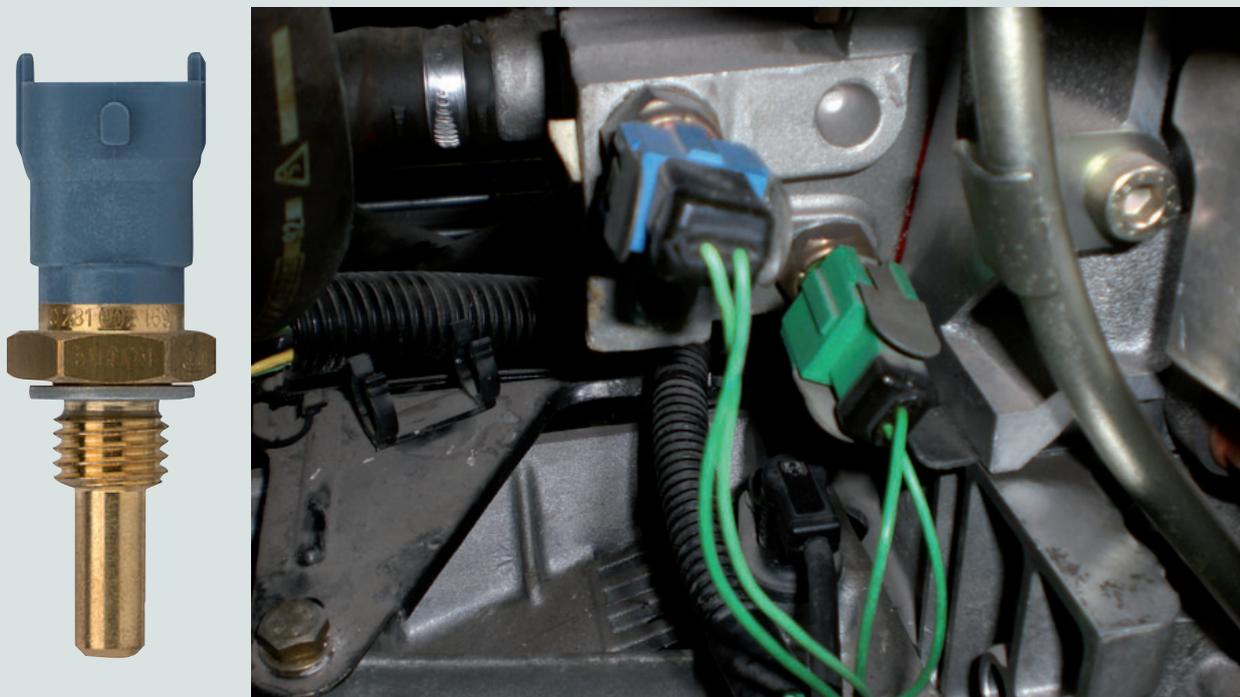
Controla la masa de la bobina del relé a través de las vías 1 y 8

Enciende la luz de exceso de temperatura por la vía 6

Recibe positivo de batería por la vía 4 y positivo de llave de contacto por la vía 15

La termistancia de temperatura

Informa de la temperatura del líquido de refrigeración a la unidad de control. Consiste en una resistencia que varía su valor ohmico en función de la temperatura.



↑ Figura 16.34. Termistancia de temperatura y lugar de montaje en el motor.

Funcionamiento

- La unidad de control de temperatura debe mantener el líquido refrigerante entre 90 y 100 grados. Cuando la termistancia de temperatura detecta un valor correspondiente a 96° cierra la masa del relé (vía 8) y pone en marcha el electroventilador hasta que la temperatura baje a 93°.
- Si la temperatura del motor supera los 118° se enciende la lámpara testigo en el tablero de instrumentos (vía 6).
- Si después de parar el motor la temperatura supera los 112° la UCT pone en marcha el electroventilador durante un tiempo máximo de 6 minutos

MUNDO TÉCNICO

Componentes de una bomba de agua

El elemento central de una bomba de líquido refrigerante para motores de automóviles es la rueda de álabes o rotor que, según el tipo, puede tener un número variable de álabes, de forma recta o curvada montadas radial o tangencialmente.

La configuración y las dimensiones de la rueda de álabes determina en gran parte la potencia de la bomba de agua. Otros componentes son el eje motor y el cojinete que forma casi siempre una unidad lista para el montaje.

Tipo de accionamiento

La bomba de agua es accionada por el motor a través de una correa que puede ser la correa de distribución correspondiente al sistema de accionamiento del árbol de levas o la correa trapezoidal o acanalada que viene del cigüeñal. Si la polea no forma parte de la bomba, hay que atornillarla a la brida del eje motor.

Configuración del cuerpo de la bomba

Las bombas de agua pueden ser abiertas o cerradas. En el caso de las bombas abiertas hay una zona de acoplamiento en el motor en donde está fijada la bomba mediante un retén y una junta plana que se encargan de la estanqueidad. El remate del cuerpo de bomba forma parte del motor.

En cambio, las bombas cerradas constituyen una unidad en sí con una placa o tapa que cierra y estanca el cuerpo de bomba.

El eje motor lleva, en el lado de descarga, la rueda de álabes, en el lado de accionamiento, una brida o polea.

El cuerpo de la bomba está fabricado en aluminio o fundición de hierro y tiene, según el tipo de bomba, diversos elementos conexos, tales como los elementos de sujeción para los tubos flexibles, los termostatos, tapones, etc. El cuerpo de bomba tiene además un taladro de fugas que sirve para control. El retén del eje asegura la estanqueidad entre cuerpo y eje motor: de su buen funcionamiento depende esencialmente la vida útil.



← **Figura 16.35.** Accionamiento por correa de distribución.



← **Figura 16.36.** Accionamiento por correa trapezoidal.



← **Figura 16.37.** Bomba sin polea.



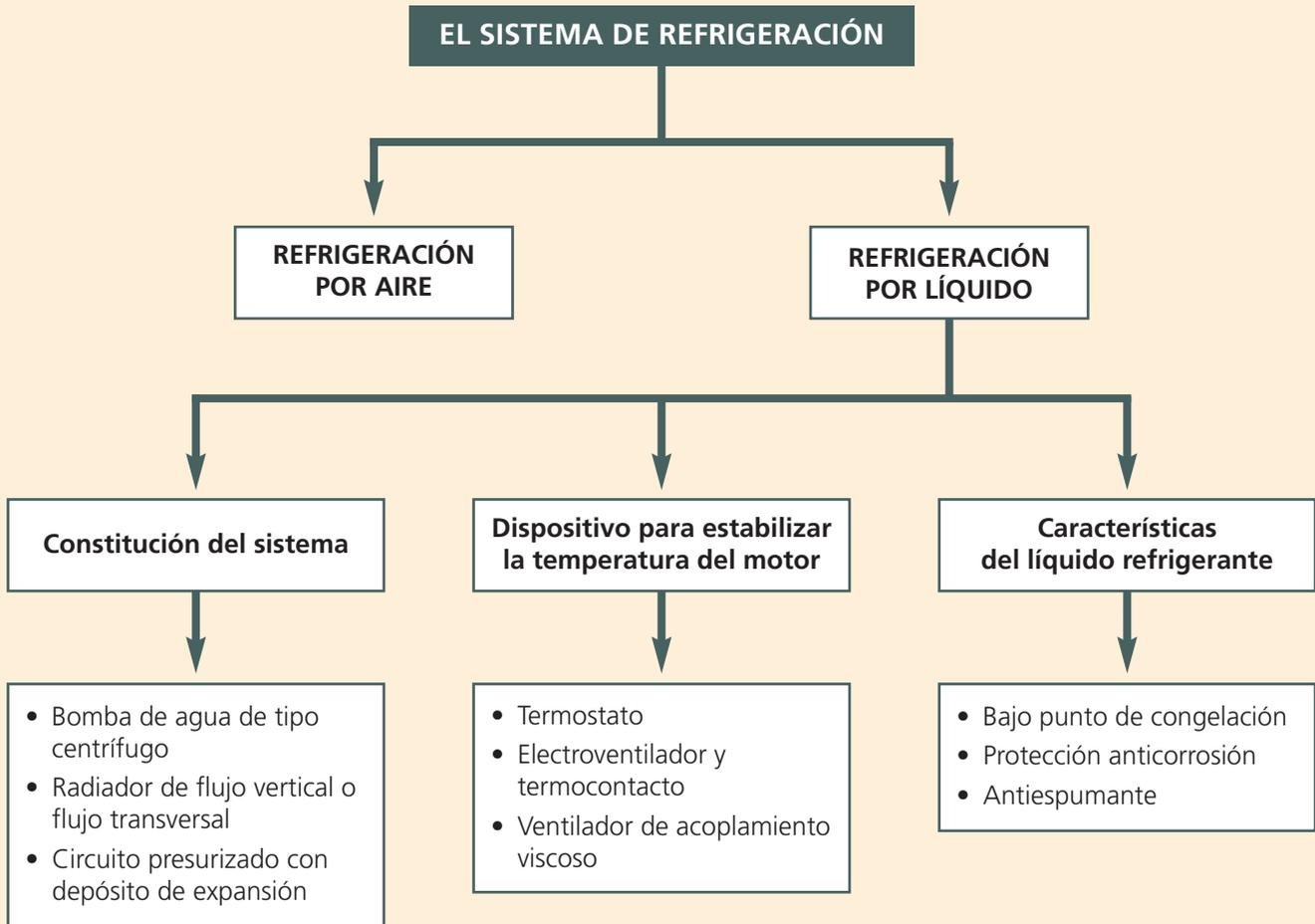
↑ **Figura 16.38.** Bomba con brida de fijación.



↑ **Figura 16.39.** Bomba con carcasa.

Fuente: MSI Motor Service International

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad.

- www.reycomotor.com/Reyco/Ksmotor/Pumps1.htm
- http://www.revistamotoviva.com/el-sistema-de-refrigeracion-5--no-debemos-olvidarnos-del-aceite_id29920/sistema-de-refrigera
- http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4084/1/sistema_de_enfriamiento.pdf
- <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/bo11.pdf>
- <http://members.fortunecity.es/100pies/refrigeracion/cavitacion.htm>
- http://www.es.total.com/Es/escorporate.nsf/V_S_OPM/9704300A37648A3EC125756E005322F5?OpenDocument

17

Comprobación del sistema de refrigeración

vamos a conocer...

1. Averías en la refrigeración
2. Comprobaciones

PRÁCTICA PROFESIONAL

Circuito de refrigeración

Comprobaciones en el circuito de refrigeración

MUNDO TÉCNICO

Módulo de refrigeración del motor BMW modelo E87

y al finalizar esta unidad...

- Realizarás la comprobación del circuito de refrigeración y de los elementos que lo componen.
- Analizarás los valores obtenidos en las comprobaciones para determinar los elementos que se deben reparar o sustituir.
- Aplicarás las normas de seguridad y protección medioambiental que sean necesarias.

situación de partida

Andrés es el propietario de un pequeño taller multimarca de reparación de automóviles y muchas de las averías con las que trata a diario están relacionadas con el sistema de refrigeración. Por su amplia experiencia como mecánico sabe que los fallos en la refrigeración, cuando no se reparan a tiempo, pueden ocasionar importantes daños en el motor. La avería más frecuente por sobrecalentamiento del motor es la deformación del plano de culata con la consiguiente pérdida de estanqueidad. Ante este tipo de averías, Juan siempre explica a sus clientes que la mayoría de ellas podría evitarse si se para el motor inme-

diatamente que se detecta que el piloto de temperatura se enciende.

Las averías más habituales en el sistema de refrigeración son causadas por mal estado la bomba de agua, mal funcionamiento del termostato, falta de estanqueidad en el circuito, fallos en el electroventilador y el termocontacto o el sensor de temperatura.

Para mantener en buen estado el líquido refrigerante se debe cambiar con la frecuencia adecuada ya que con el tiempo pierde sus cualidades. En motores con muchos kilómetros es conveniente realizar un vaciado y limpieza del circuito de refrigeración.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuáles son los síntomas de avería más comunes que afectan al sistema de refrigeración?
2. ¿Qué causas pueden originar un excesivo calentamiento del motor?
3. ¿Cuál es el procedimiento para detectar fugas en el circuito?
4. ¿Cómo se comprueba el termocontacto?
5. ¿Cómo se realiza el llenado y purga del circuito?

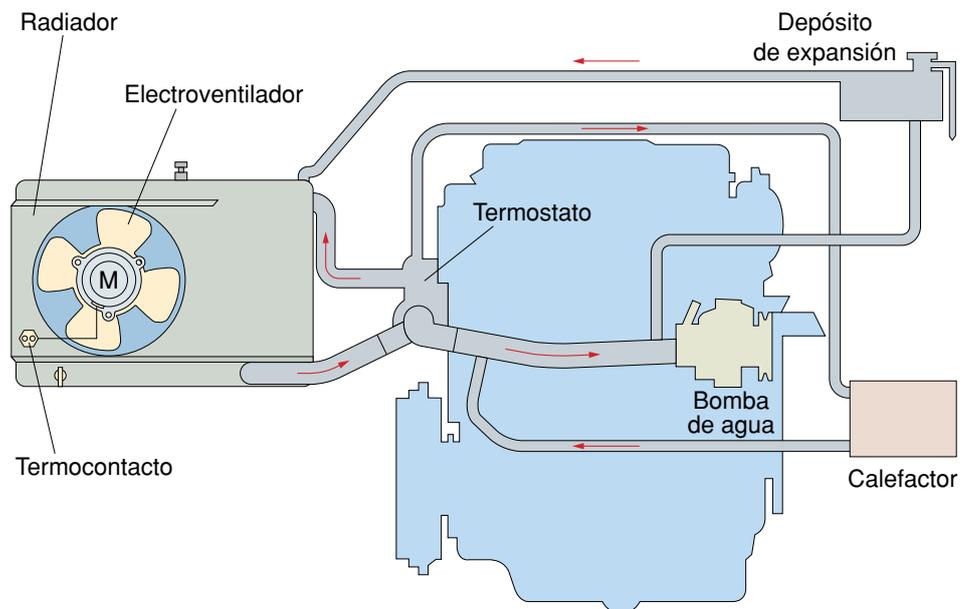
1. Averías en la refrigeración

El indicador de temperatura del tablero de instrumentos proporciona información sobre el funcionamiento del sistema de refrigeración. Una temperatura superior o inferior a la normal es un indicio de defecto en alguno de los componentes.

Si se supera la temperatura máxima de funcionamiento del motor pueden producirse graves daños que generalmente afectan a la estanqueidad de la junta de culata por deformación del plano de cierre. El exceso de dilatación provoca fuertes rozamientos que en casos extremos llegan a gripar los pistones u otros elementos.

Los síntomas de avería que afectan al sistema de refrigeración son los siguientes:

- Fugas de líquido refrigerante.
- El motor se calienta en exceso.
- El motor tarda en alcanzar la temperatura de régimen.



↑ **Figura 17.1.** Circuito de refrigeración.

1.1. Fugas del líquido refrigerante

Los lugares más frecuentes de pérdidas de líquido son:

- Los manguitos, en sus puntos de conexión o por grietas.
- El radiador, por fugas en los tubos o por falta de estanqueidad entre el cuerpo y los depósitos.
- El calefactor del interior del vehículo.
- La bomba de agua, por el retén del eje o por la junta de unión al bloque.
- La junta de culata debido al apriete incorrecto de los tornillos o por deformaciones en la superficie de la culata. Las fugas en este caso se producen hacia el interior de los cilindros.

1.2. El motor se calienta en exceso

Las posibles causas son:

- Bajo nivel de líquido refrigerante por pérdidas.
- Mal funcionamiento del termostato. Si no abre, o lo hace solo parcialmente, el líquido no pasará en suficiente cantidad al radiador.
- Mal funcionamiento del termocontacto que activa el electroventilador.
- Radiador sucio exteriormente o parcialmente obstruido.
- Correa de la bomba de agua floja o rota.
- Otras causas ajenas al circuito de refrigeración, como encendido retrasado o mezcla pobre en los motores Otto.

caso práctico inicial

El excesivo calentamiento del motor puede provocar graves averías.

1.3. El motor tarda en alcanzar la temperatura de régimen

Generalmente, el motor tarda en alcanzar la temperatura de régimen, cuando el termostato no cierra correctamente y permite el paso de líquido al radiador estando el motor frío.

Otra causa menos frecuente es el funcionamiento continuo del electroventilador por haberse quedado cerrado el termocontacto de forma permanente.

2. Comprobaciones

Las comprobaciones a realizar en el circuito de refrigeración son las siguientes:

- Estanqueidad del circuito.
- Válvulas del tapón.
- Termostato.
- Bomba de agua.
- Electroventilador y termocontacto.
- Verificación y sustitución del líquido de refrigeración.

2.1. Estanqueidad del circuito

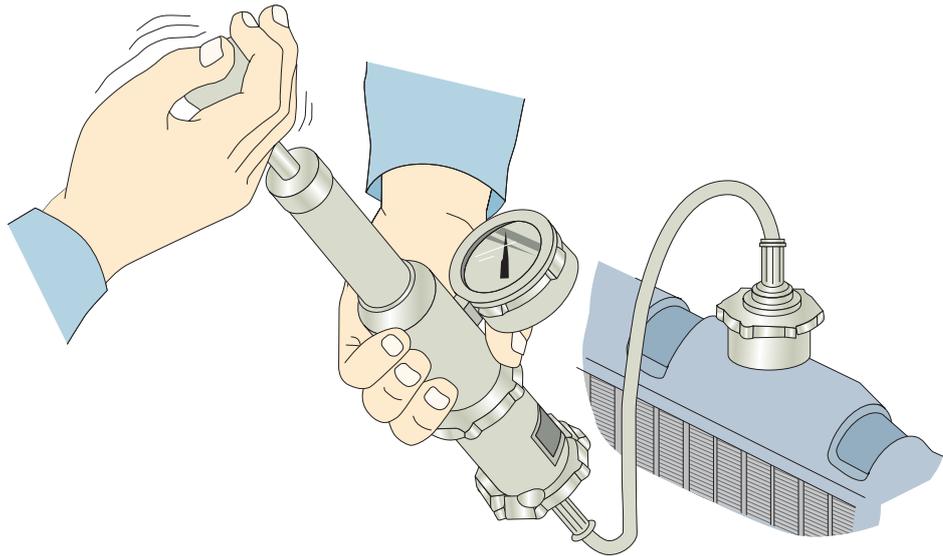
El nivel del líquido se comprueba con el motor frío. En el depósito de expansión el refrigerante debe encontrarse unos centímetros por encima de la marca MÍN y sin sobrepasar la marca MÁX. Si el nivel es bajo, rellenar con líquido refrigerante de la misma calidad que la contenida en el circuito. No rellenar con agua, ya que se rebajan las cualidades del anticongelante.

Cuando sea necesario reponer líquido con frecuencia se deberá buscar la causa de la pérdida.

Las fugas importantes son fácilmente localizables por la mancha que deja el líquido. Para localizar las pequeñas fugas se emplea un útil consistente en una bomba manual, provista de un manómetro y de diversos adaptadores para conectarla en el lugar del tapón del radiador o del depósito de expansión.

Comprobación de la estanqueidad

Extraer el tapón del radiador, o en su caso, del vaso de expansión y montar en su lugar el útil de comprobación (figura 17.2).



↑ **Figura 17.2.** Comprobación de la estanqueidad del circuito.

caso práctico inicial

La falta de estanqueidad es una avería frecuente en el sistema de refrigeración.

Llevar el motor a su temperatura de régimen (conexión del electroventilador), y después pararlo.

A continuación, bombear con el útil hasta conseguir una presión de 0,1 bar por encima de la presión de tarado de la válvula del tapón. Si, por ejemplo, esta válvula abre a 1,2 bar, poner el manómetro a 1,3 bar.

Comprobar que la presión se mantiene.

Si la presión desciende, buscar la fuga, que se puede localizar en los manguitos, en el radiador, en el aerotermo de la calefacción o en la bomba de agua.

Una vez localizado, desmontar y sustituir el elemento afectado, rellenar y purgar el circuito.

En caso de no encontrar fugas externas, comprobar si la pérdida se produce por la junta de culata.

Síntomas de fugas internas a través de la junta de culata

- Presencia de aceite en el líquido refrigerante.
- Presencia de líquido en el aceite de engrase.
- Expulsión de líquido por el tubo de escape con el motor funcionando.

Si se producen alguno de los síntomas anteriores, debe ponerse el motor en marcha, extraer el tapón del depósito de expansión o el del radiador y observar si aparecen burbujas procedentes de la compresión.

En caso de confirmarse la fuga, se debe verificar el apriete de la culata y si aún persiste, desmontar la culata, planificarla y montarla con una junta nueva.

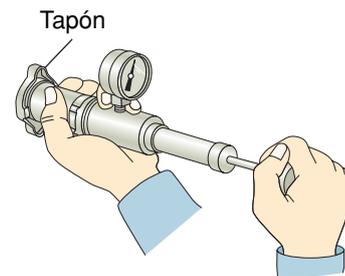
2.2. Válvulas del tapón

Si esta válvula se encuentra en mal estado, el circuito no se presuriza y existe pérdida de líquido.

Las válvulas de presión y de depresión se pueden encontrar en el tapón del radiador, aunque, actualmente, en la mayoría de los casos se montan sobre el tapón del depósito de expansión.

Para realizar la verificación de la válvula de presión se emplea el mismo útil de la prueba anterior.

Para ello, se adapta el tapón sobre el útil (figura 17.3) y se bombea hasta alcanzar la presión de tarado de la válvula (1 a 1,6 bar). Se admite una tolerancia de $\pm 0,1$ bar. Si no es correcto, debe sustituirse el tapón. También se debe sustituir la junta de goma si no se encuentra en perfectas condiciones.



↑ **Figura 17.3.** Comprobación de las válvulas del tapón.

2.3. Termostato

Esta válvula controla el paso de líquido del motor hacia el radiador, de manera que si su funcionamiento es defectuoso y permanece cerrada, el motor se calienta en exceso y, si permanece siempre abierta, tarda en alcanzar su temperatura de régimen.

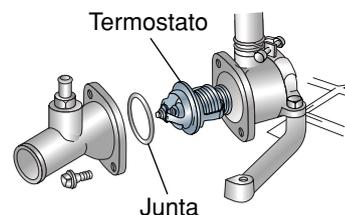
Desmontar el termostato de su alojamiento. Vaciar el líquido hasta un nivel apropiado, separar la tapa y extraerlo (figura 17.4).

Para **comprobar el termostato** sumergirlo en un recipiente con agua y calentarla (figura 17.5). Controlar la temperatura con un termómetro y verificar:

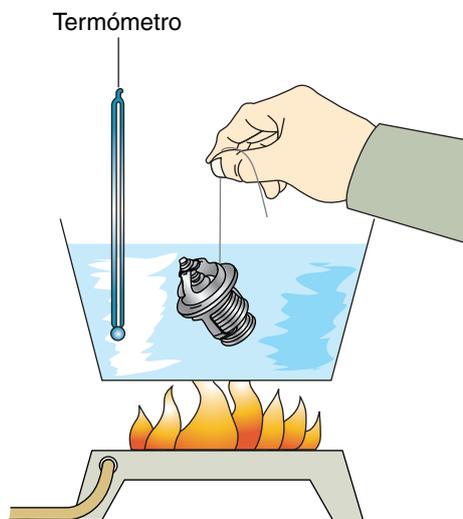
- La temperatura a la que comienza a abrirse (80 a 86 °C).
- La temperatura a la que termina de abrirse (95 a 100 °C).
- El recorrido de la válvula (figura 17.6) (7 a 8 mm).

Estos datos suelen venir impresos sobre el termostato. Si los valores obtenidos no son correctos se deben sustituir.

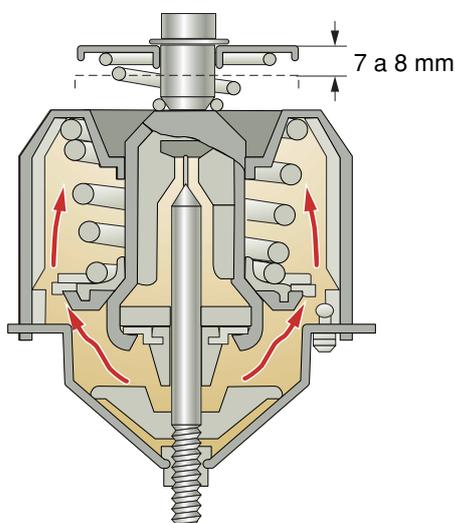
Finalmente, montar el termostato con una junta nueva, rellenar el líquido y purgar el circuito.



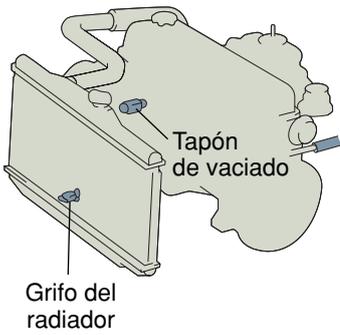
↑ **Figura 17.4.** Desmontaje del termostato.



↑ **Figura 17.5.** Comprobación del termostato.



↑ **Figura 17.6.** Válvula de termostato abierta.



↑ **Figura 17.7.** Vaciado del circuito.

2.4. Bomba de agua

Las averías más frecuentes en la bomba son la pérdida de líquido, a través del retén del árbol de mando, y la aparición de ruidos producidos generalmente por el mal estado de los rodamientos.

Sustitución de la bomba

Primero, vaciar el líquido de refrigeración, tanto del bloque como del radiador (figura 17.7).

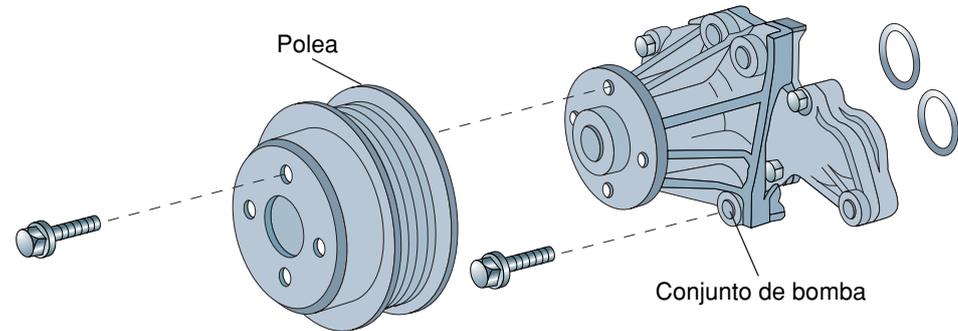
Destensar y extraer la correa de accionamiento.

Desmontar la polea (figura 17.8).

Quitar los tornillos de fijación del cuerpo de bomba al bloque y extraer la bomba. Comprobar que el árbol gira suavemente y que no existen señales de fugas de líquido. Por lo general, el conjunto de bomba no se repara, en caso de que hubiese alguna anomalía proceder a su sustitución completa.

Montar la nueva bomba.

Asegurar la estanqueidad de la junta empleando un producto sellante.



↑ **Figura 17.8.** Bomba de agua.

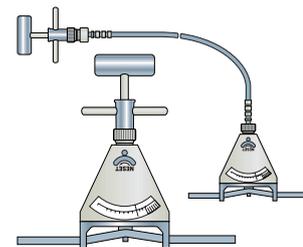
Montar la polea y sustituir la correa por una nueva en caso de no encontrarse en buen estado.

Realizar el tensado de la correa utilizando el tensiómetro recomendado por el fabricante (figura 17.9), aplicándolo en el punto de control adecuado (figura 17.10).

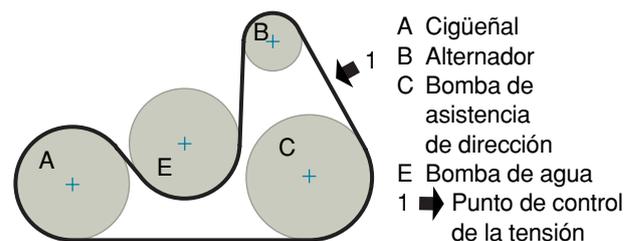
Si no se dispone de este aparato, tensar hasta que presionando sobre la correa con el dedo pulgar, se obtenga un desplazamiento de entre 5 y 15 mm, dependiendo de la distancia entre las poleas.

Después, llenar y purgar el circuito.

Cuando las correas trapezoidales son nuevas sufren un ligero alargamiento. Por tanto, es necesario volver a tensar después de 10 minutos de funcionamiento.



↑ **Figura 17.9.** Tensiómetros para correas.



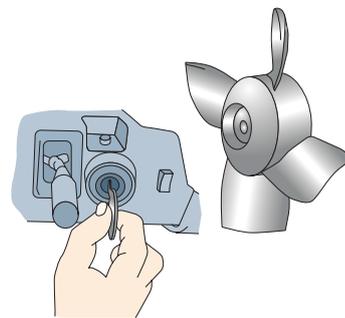
↑ **Figura 17.10.** Correa de accesorios.

2.5. Electroventilador y termocontacto

Recordemos que el termocontacto es un interruptor térmico que conecta y desconecta el electroventilador.

Para comprobarlo, se pone el motor en marcha y se espera a que el motor alcance la temperatura de conexión del electroventilador (figura 17.11). Si pasado un tiempo prudencial se nota un aumento de nivel en el vaso de expansión y el electroventilador no se ha conectado, se debe realizar la siguiente prueba:

Extraer los terminales del termocontacto y hacer una conexión entre ellos, si el motor funciona, comprobar el termocontacto. En caso de que no funcione, comprobar el motor del ventilador.



↑ **Figura 17.11.** Comprobación del electroventilador.

Comprobación del termocontacto

Sumergir parcialmente el termocontacto en un recipiente con agua (figura 17.12) de manera que se pueda conectar un óhmetro a sus terminales. Calentar el agua mientras se toma la temperatura con un termómetro.

Comprobar que, cuando se alcanza la temperatura de conexión, el óhmetro pasa de marcar resistencia infinita a resistencia cero.

Dejar que se enfríe el agua y comprobar que a la temperatura de desconexión el óhmetro pasa a marcar resistencia infinita.

De no cumplirse los valores, sustituir el termocontacto.

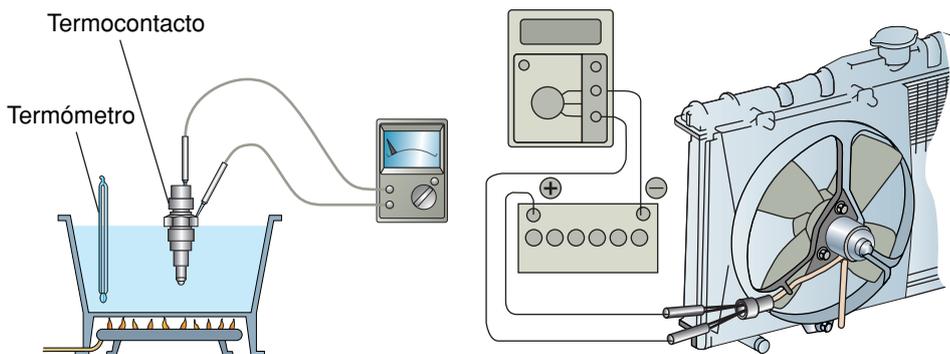
Comprobación del motor eléctrico

Se deben alimentar los dos terminales del motor directamente desde la batería. Pueden darse los siguientes casos:

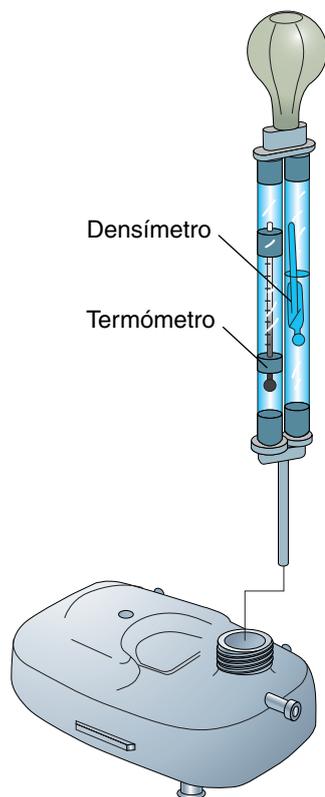
- El motor no funciona, por lo que deberá sustituirse.
- El motor funciona. Entonces, se comprobará el fusible, el relé y su correcta alimentación. Además, se verificará el cableado de toda la instalación.
- El motor no alcanza la suficiente velocidad de rotación. En este caso se conecta un amperímetro en serie (figura 17.13) para comprobar el consumo. Se comparará con el valor que da el fabricante y, si no es correcto, sustituir el motor.

2.6. Verificación y sustitución del líquido refrigerante

El líquido refrigerante debe mantenerse en perfectas condiciones para que conserve su nivel de protección anticongelante y sus propiedades anticorrosivas.



↑ **Figura 17.12.** Verificación del termocontacto. ↑ **Figura 17.13.** Comprobación del motor eléctrico.



↑ **Figura 17.14.** Medición de la concentración del anticongelante.

		LECTURA CON DENSÍMETRO							
		3	5	10	15	20	30	40	
LECTURA CON TERMÓMETRO	10	0	0	5	8	11	14	18	CENTÍGRADOS POR DEBAJO DE 0 °C
	20	1	2	6	10	14	18	24	
	30	2	3	8	12	17	24	30	
	40	3	5	10	15	20	30	33	
	50	4	7	12	18	24	35	40	
	60	6	9	15	22	28	40		
	70	8	12	18	25	32			
	80	10	14	22	32	37			
		PROTECCIÓN CORREGIDA EN GRADOS							

EJEMPLO | Lectura con el termómetro: 60 | Protección hasta menos 15 °C
 | Lectura con el densímetro: 10

↑ **Figura 17.15.** Tabla indicadora del grado de protección.

caso práctico inicial

Se debe de verificar el estado del líquido refrigerante y cambiarlo cada dos años.

Para realizar la verificación del líquido refrigerante, se debe examinar el estado del líquido, a través del tapón del radiador o del depósito de expansión. Comprobar que no esté sucio debido al óxido y que no contenga aceite o restos de combustible, que indicaría la posible existencia de fugas en la junta de culata.

El estado del líquido se comprueba midiendo la concentración del anticongelante.

Para este procedimiento se utiliza un instrumento provisto de un densímetro y un termómetro (figura 17.14). Se toma una muestra de líquido y, con los valores obtenidos de densidad y temperatura, se puede encontrar el grado de protección del refrigerante, consultando una tabla como la de la figura 17.15.

El líquido pierde sus cualidades con el uso, por lo que los fabricantes recomiendan su sustitución cada 60.000 km, o bien cada 2 años.

Vaciado y limpieza de circuito

Colocar un recipiente para recoger el líquido, quitar el tapón de llenado y aflojar los purgadores.

Para realizar el vaciado del líquido, algunos sistemas disponen de un grifo en la parte baja del radiador y de un tapón atornillado en el bloque (figura 17.7). En otros casos basta con desconectar el manguito inferior del radiador.

Una vez vacío **lavar el circuito** con agua. Cerrar el grifo de vaciado y llenar el circuito con agua limpia, entonces se debe arrancar el motor y mantener funcionando a ralentí durante unos minutos, a continuación vaciar el agua, si sale muy sucia se deberá repetir la operación.

Las incrustaciones calcáreas que se producen con el tiempo sobre las cámaras y en el radiador reducen su capacidad transmisora de calor y estrechan los pasos de líquido entre el bloque y la culata. Para eliminarlas, llenar el circuito con una mezcla de agua y un producto desincrustante. Los productos que contienen sosa cáustica y componentes alcalinos atacan a las aleaciones ligeras, por tanto no deben usarse en radiadores de aluminio, ya que se podrían ocasionar fugas. Habrá que respetar siempre la proporción de la mezcla indicada por el fabricante.

Se hará funcionar el motor con esta mezcla durante 20 minutos aproximadamente, después se vaciará y, a continuación, se lavará perfectamente con agua clara.

Llenado y purga de circuito

Colocar los tapones de vaciado del radiador y del bloque.

Abrir los tornillos de purga (figura 17.16). Habitualmente se disponen 3 purgadores:

- Uno en la parte alta del radiador.
- Otro en la caja del termostato.
- Y un tercer purgador, en un manguito de la calefacción.

Poner el mando de la calefacción en posición de temperatura máxima para facilitar el llenado del calefactor.

Llenar lentamente el circuito a través del depósito de expansión.

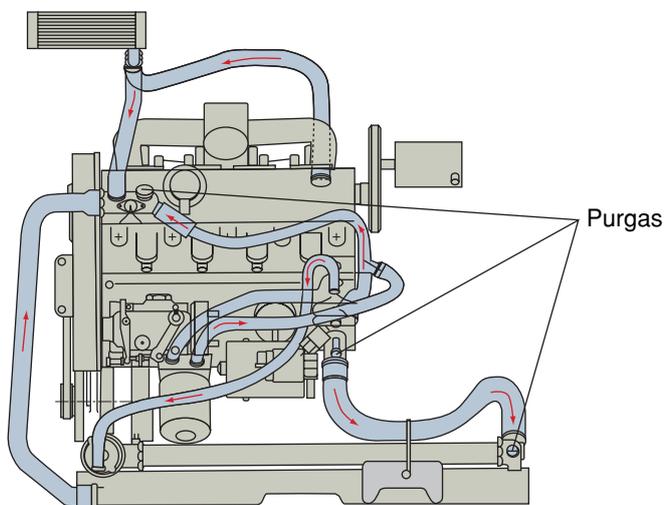
Cerrar los tornillos de purga cuando el líquido comience a salir sin burbujas. Se empieza por el más bajo y se termina por el que esté en una posición más alta.

Ajustar el nivel del depósito de expansión y poner el tapón. Después, arrancar el motor y esperar a que se conecte el electroventilador.

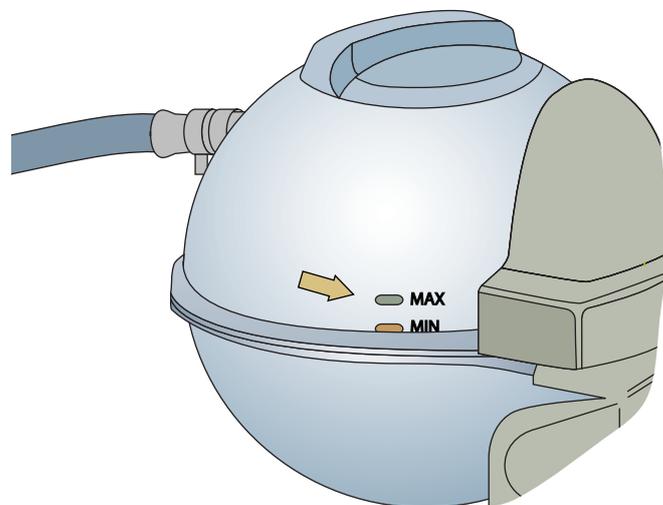
Comprobar que, a temperatura de régimen, el nivel queda por encima de la marca MÁX. A continuación, parar el motor y dejar que se enfríe, el líquido deberá estar entre las marcas MÍN y MÁX (figura 17.17) si no fuera así, ajustar el nivel.

Si fuera preciso añadir líquido estando el motor caliente, se hará muy despacio para no exponer al motor a cambios bruscos de temperatura que puedan ocasionar tensiones térmicas.

En todo caso, para realizar el llenado y la purga del circuito, se deben seguir siempre las instrucciones particulares indicadas por el fabricante.



↑ Figura 17.16. Tornillos de purga.



↑ Figura 17.17. Marcas de nivel en el vaso de expansión.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. Comprueba la estanqueidad del circuito de refrigeración:
 - Instala el útil de comprobación en la boca del radiador o del vaso de expansión.
 - Lleva el motor a su temperatura de régimen y páralo.
 - Bombea hasta una presión de 0,1 bar por encima de la presión de tarado.
 - Comprueba que la presión se mantiene.
 - Si la presión desciende, localiza la fuga.
- 2. Comprueba las válvulas del tapón:
 - Coloca el tapón correspondiente en el útil.
 - Bombea hasta alcanzar la presión de tarado de la válvula.
 - Si no abre a la presión correcta sustituir el tapón.
- 3. Vacía el circuito:
 - Vacía el radiador por el grifo o quitando el manguito inferior.
 - Vacía el bloque quitando el tapón de vaciado. Recoge el líquido en un recipiente.
- 4. Desmonta y comprueba el termostato:
 - Extrae el termostato de su alojamiento.
 - Sumérgelo en un recipiente con agua y calienta el agua.
 - Introduce un termómetro y comprueba:
 - Temperatura de comienzo de apertura.
 - Temperatura de final de apertura.
 - Recorrido de la válvula.
 - Si no son correctos estos datos, sustituye el termostato.
- 5. Sustituye la bomba de agua:
 - Extrae la correa de accionamiento y desmonta la bomba.
 - Monta la nueva bomba con su junta y coloca la correa.
- 6. Comprueba el electroventilador y el termocontacto:
 - Comprueba si el electroventilador se pone en marcha cuando se alcanza la temperatura de conexión.
 - Comprueba el termocontacto:
 - Sumérgelo en un recipiente con agua y calienta el agua.
 - Comprueba la temperatura de conexión y desconexión.
 - Comprueba el electroventilador:
 - Aliméntalo directamente de batería y comprueba si funciona.
 - Comprueba el consumo del motor con un amperímetro.
 - Comprueba el cableado, el fusible y el relé.
- 7. Llena el circuito y púrgalo:
 - Coloca los tapones de vaciado y abre los purgadores.
 - Llena lentamente el circuito a través del depósito de expansión.
 - Cierra los purgadores cuando el líquido comience a salir sin burbujas.
 - Ajusta el nivel del depósito de expansión entre las marcas MÁX. y MÍN.
- 8. Pon en marcha el motor y comprueba el correcto funcionamiento del circuito de refrigeración:
 - Arranca el motor y espera a que se conecte el electroventilador.
 - Comprueba que en caliente el nivel del vaso esté por encima de la marca MÁX.
 - Deja que se enfríe y comprueba que el nivel queda entre las marcas MÁX y MÍN.
 - Sigue siempre las instrucciones particulares del fabricante.
- 9. Cita las causas que pueden provocar un mal funcionamiento en el sistema de refrigeración líquida.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Cómo se comprueba la concentración del líquido refrigerante?

- a) Al suministrar 2 bar de presión en el circuito.
- b) Al verificar el nivel en el vaso de expansión.
- c) Con un densímetro y un termómetro.
- d) Al comprobar que el líquido no está sucio ni contiene impurezas.

2 ¿Qué grado de protección ofrece un líquido refrigerante cuya lectura obtenida en el densímetro es 20 a una temperatura de 30 °C?

- a) -17 °C.
- b) -14 °C.
- c) -10 °C.
- d) 0 °C.

3 En el caso de que el termostato no llegue a cerrarse totalmente, ¿qué consecuencias puede tener en el motor?

- a) El motor se calienta en exceso.
- b) El motor tarda en alcanzar la temperatura de régimen.
- c) La bomba de agua trabaja en vacío.
- d) El circuito no se presuriza.

4 Si las válvulas que se encuentran en el tapón del vaso de expansión están en mal estado:

- a) El circuito no se presuriza.
- b) Existe pérdida de líquido.
- c) Las dos respuestas anteriores son correctas.
- d) Ninguna respuesta es correcta.

5 La comprobación de la estanqueidad se hace bombeando aire en el interior del circuito:

- a) Hasta una presión de 0,1 bar por encima de la presión de tarado de la válvula.
- b) Hasta 2,5 bar de presión.
- c) Hasta 0,5 bar por debajo de la presión de tarado de la válvula.
- d) Hasta que se abra el termostato.

6 El termocontacto:

- a) Conecta la bomba de agua.
- b) Calienta el líquido que hay en el radiador.
- c) Abre o cierra el paso de líquido al radiador.
- d) Abre o cierra la alimentación del radiador.

7 ¿Dónde suelen colocarse los purgadores del circuito de refrigeración?

- a) En la parte alta del radiador.
- b) En la caja del termostato.
- c) En un manguito de la calefacción.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

8 ¿Cada cuánto tiempo se recomienda cambiar el líquido refrigerante?

- a) A los 100.000 km o cada 5 años.
- b) A los 15.000 km o cada año.
- c) A los 60.000 km o cada 2 años.
- d) No es necesario cambiarlo.

PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor
- Documentación técnica.

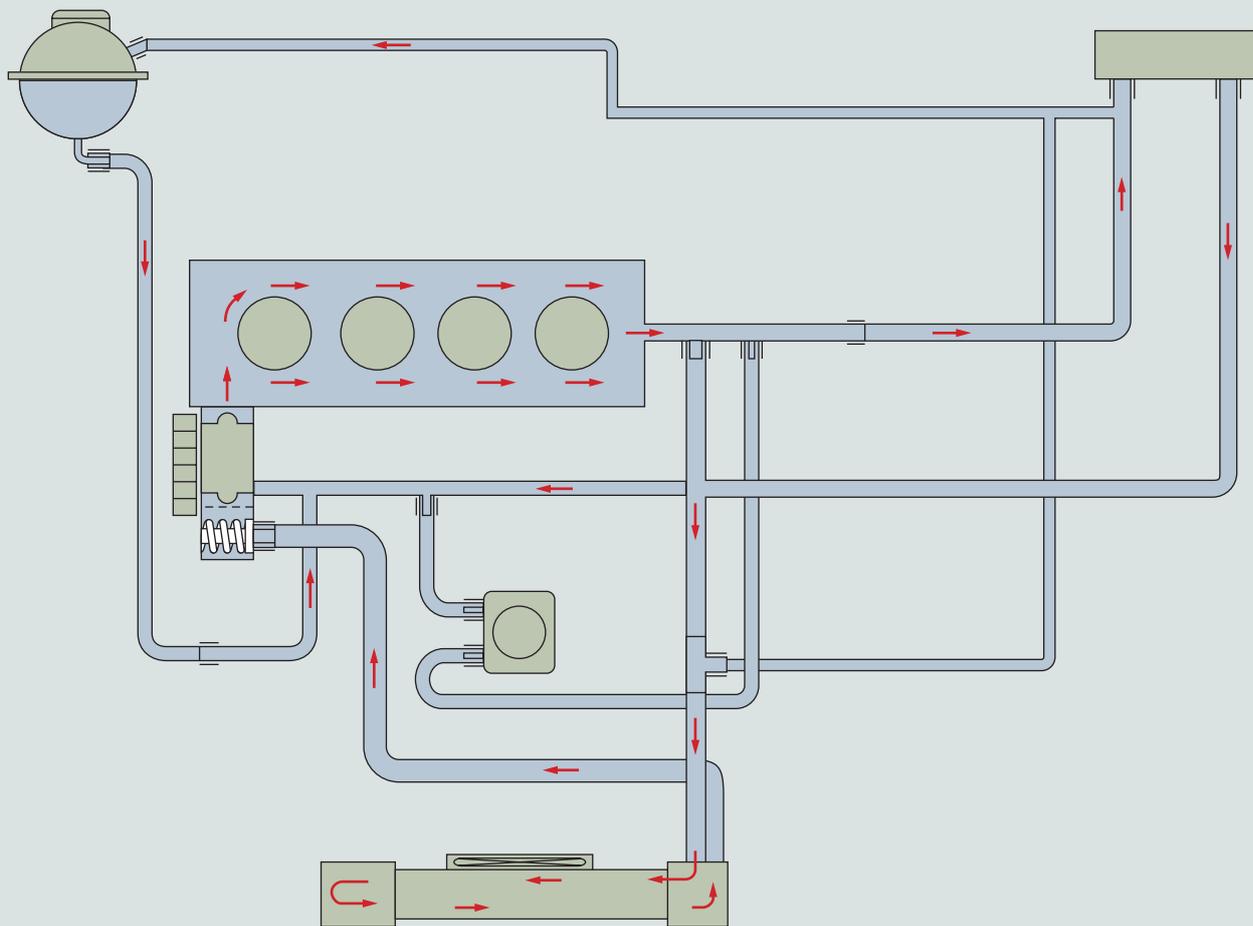
Circuito de refrigeración

OBJETIVO

Examinar el circuito de refrigeración en el motor y realizar un esquema.

DESARROLLO

1. Se identifican los elementos que componen el sistema de refrigeración: radiador, electroventilador, bomba de agua, termostato, depósito de expansión y radiador de calefacción.
2. Dibujar los componentes y conectarlos como están en el motor.
3. Se identifican sobre el motor los elementos que intervienen en el funcionamiento del electroventilador: motor, ventilador, termocontacto, relé y fusible. Dibujar el circuito eléctrico del electroventilador.



↑ **Figura 17.18.** Circuito de refrigeración.

Comprobaciones en el circuito de refrigeración

OBJETIVO

Comprobar los elementos que pueden ser causa de calentamiento excesivo del motor.

DESARROLLO

1. Se inspeccionan visualmente los elementos del circuito de refrigeración para comprobar su correcto estado: fugas, suciedad en el radiador y nivel de líquido refrigerante en el depósito de expansión (rellenar si fuera necesario con anticongelante adecuado).
2. Se comprueba el motoventilador, para ello se pone el contacto, se extraen los terminales del termoccontacto del radiador y se hace una conexión entre ellos, el ventilador debe funcionar, si no es así comprobar el fusible, el relé y el cableado.

Si el ventilador funciona se comprobará con un amperímetro que su consumo es correcto.

3. Para comprobar el termoccontacto se hace funcionar el motor hasta que alcance su temperatura, si aumenta el nivel del líquido en el depósito de expansión y el ventilador no funciona sustituir el termoccontacto.
4. Se comprueba el correcto funcionamiento de la bomba y su correa de transmisión.
5. Si el problema persiste se sustituye el termostato, después se rellena con líquido anticongelante nuevo y se purga el circuito.

HERRAMIENTAS

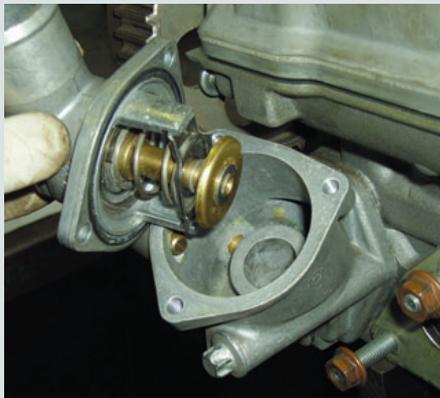
- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor
- Documentación técnica.



↑ Figura 17.19. Motoventilador.



↑ Figura 17.20. Desmontaje del termostato.



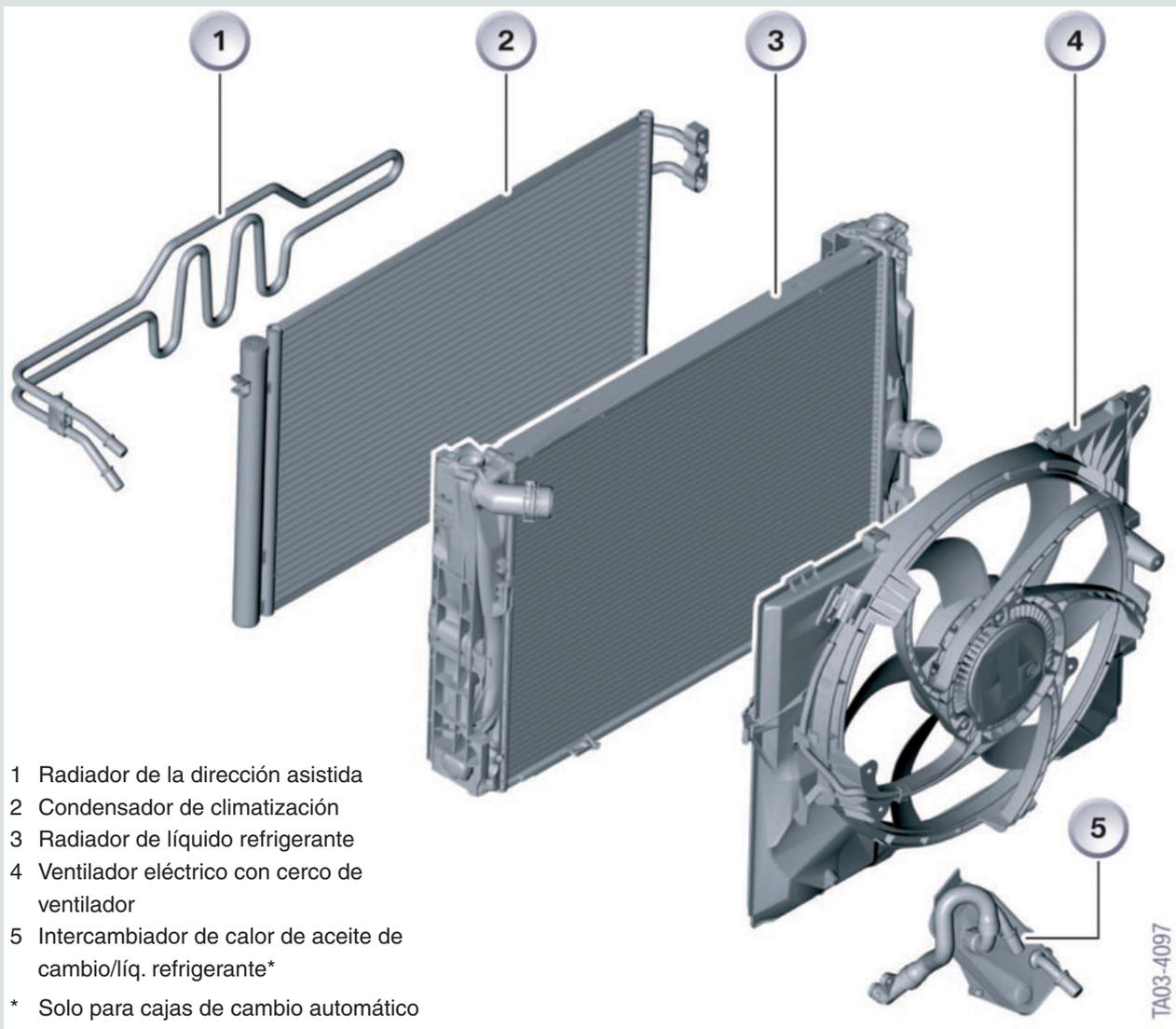
↑ Figura 17.21. Nivel del líquido refrigerante.

MUNDO TÉCNICO

Módulo de refrigeración del motor BMW modelo E87

Los módulos de refrigeración son unidades constructivas que constan de los más diversos componentes destinados a la refrigeración y climatización del vehículo:

- Radiador de líquido refrigerante
- Depósito de compensación de líquido refrigerante
- Condensador de climatización
- Colector de líquido refrigerante
- Ventilador eléctrico con cerco de ventilador
- Radiador de la dirección asistida



Fuente: BMW

EN RESUMEN

COMPROBACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Localizar las posibles fugas de líquido refrigerante

Comprobar las válvulas de presurización

Comprobar el estado de la bomba de agua y del termostato

Comprobar el estado del electroventilador y del termocontacto

Sustituir cualquier elemento que se encuentre en mal estado

Determinar el estado del líquido refrigerante

Efectuar el llenado y purga del circuito

entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad:

- http://www.gti16.com/usr/coco/bmw_refrig/bmw_refrig.html
- <http://www.etrucker.com/apps/news/article.asp?id=53594>
- <http://members.fortunecity.es/100pies/mecanica/diesel4.htm>
- http://www.ford.cl/outfitters/datos_utiles42.html
- <http://www.el4x4.com/spa/item/290.html>
- <http://www.guiamecanica.com.ar/articulos/alfa164.htm>

18

El motor de dos tiempos

vamos a conocer...

1. Características principales
2. El motor Otto de dos tiempos
3. Principales componentes del motor
4. El motor Diesel de dos tiempos

PRÁCTICA PROFESIONAL

Desmontaje de un motor de dos tiempos refrigerado por aire

Montaje del cigüeñal en un motor de dos tiempos

MUNDO TÉCNICO

Motor de 2 tiempos. Admisión



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás el funcionamiento de los motores de dos tiempos y sus principales características.
- Analizarás el intercambio de gases en el cilindro mediante lumbreras.
- Conocerás las características constructivas del motor de dos tiempos.

situación de partida

Alberto vive en una zona rural y quiere comprar una moto de pequeña cilindrada para usarla por el campo. Piensa que en su caso lo más apropiado es un motor de dos tiempos refrigerado por aire. Conoce bien el dos tiempos porque tiene una motosierra con este tipo de motor que ha tenido que desmontar en un par de ocasiones para su reparación y le gusta su sencillez mecánica.

Para ampliar sus conocimientos decide buscar en Internet. La información que obtiene se puede resumir en que el motor de dos tiempos desarrolla su ciclo de funcionamiento en una vuelta de cigüeñal, de modo que se obtiene una combustión cada vez que

el pistón pasa por el PMS, es decir, se consigue el doble de impulsos que en un motor de cuatro tiempos. En cambio, se dispone de menos tiempo para cada fase, como consecuencia, empeora el llenado de los cilindros. Con igual cilindrada los motores de dos tiempos consiguen mayores potencias aunque con un mayor consumo que los de cuatro.

El intercambio de gases se realiza a través de lumbreras situadas en el cilindro y controladas por el desplazamiento del pistón, por lo que se prescinde de sistema de distribución. El engrase del motor se realiza añadiendo entre un dos y un tres por ciento de aceite en el combustible.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuántas carreras utiliza el motor de dos tiempos para completar un ciclo?
2. ¿Cómo se realiza el intercambio de gases en un motor de dos tiempos?
3. ¿Qué función cumple el cárter?
4. ¿Qué vehículos y máquinas utilizan el motor de dos tiempos?



1. Características principales

El motor de dos tiempos realiza su ciclo de trabajo en dos carreras del pistón ($180^\circ \times 2$), en las cuales se llevan a cabo los procesos de admisión, compresión, expansión y escape. Se produce, por tanto, una carrera de trabajo por cada vuelta del cigüeñal. Esta es la principal característica que diferencia a estos motores de los de cuatro tiempos, en los cuales se necesitan dos vueltas de cigüeñal ($180^\circ \times 4$) para obtener una carrera motriz.

Para un mismo número de revoluciones, en los motores de dos tiempos, se obtienen el doble de procesos de combustión que en los de cuatro. Esto en teoría doblaría también su potencia, aunque en realidad no es así, ya que se dispone de la mitad de tiempo para realizar el intercambio de gases en el cilindro y empeora notablemente su rendimiento volumétrico.

Renovación de la carga

Otra característica importante de los motores de dos tiempos es el modo en que se lleva a cabo la renovación de la carga en el cilindro. A este proceso se le denomina barrido, ya que los gases son introducidos en el cilindro a presión, de forma que la entrada de gases frescos desalojan a los gases quemados.

La presión necesaria para el barrido se obtiene generalmente al comprimir los gases en el cárter que luego pasan al cilindro. En motores Diesel de gran cilindrada se emplea un compresor volumétrico o un turbocompresor.

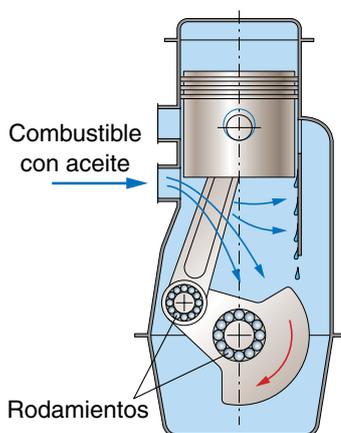
La admisión y el escape se realizan por lumbreras dispuestas en el cilindro, cuya apertura y cierre está controlado por el desplazamiento del pistón.

Los motores de dos tiempos pueden funcionar siguiendo el ciclo Otto, o bien el Diesel. Actualmente la mayoría de motores de dos tiempos empleados en automoción son de ciclo Otto y se montan en motocicletas de pequeña cilindrada, donde una mecánica sencilla y bajos costes de fabricación son los factores más importantes.

Los Diesel de dos tiempos son motores de grandes cilindradas que funcionan con bajas revoluciones, se emplean para propulsión marina y como motores estacionarios.

caso práctico inicial

El engrase del motor de dos tiempos se realiza añadiendo aceite al combustible.



↑ **Figura 18.1.** Engrase por mezcla en el motor de dos tiempos.

2. El motor Otto de dos tiempos

Generalmente son motores con cilindradas que no superan los 350 cm^3 . Se emplean en motocicletas, ciclomotores y pequeños motores fuera borda; también se utilizan para accionar máquinas como motosierras, cortacésped y pequeños generadores eléctricos.

El intercambio de gases en el cilindro se realiza a través de lumbreras, por lo que carece de sistema de distribución. El barrido se lleva a cabo gracias a la presión que adquieren los gases a su paso por el cárter. La refrigeración puede hacerse por aire o por agua y el engrase se realiza mezclando el aceite con el combustible (figura 18.1). Igual que el motor de 4 tiempos consume una mezcla de aire y gasolina y dispone de un sistema de encendido eléctrico.

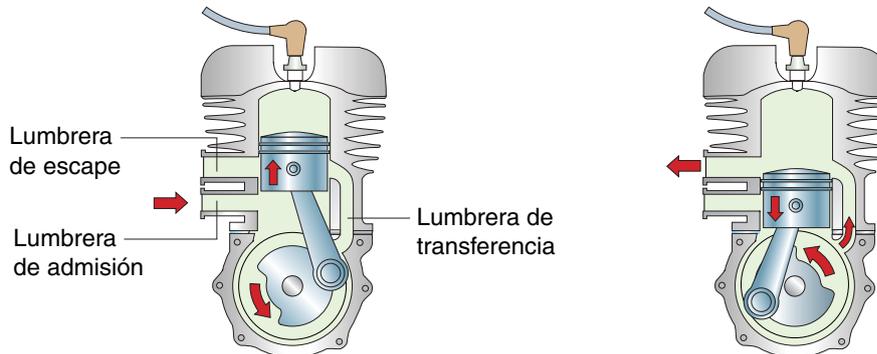
2.1. Constitución

El motor de dos tiempos (figura 18.2) está constituido por el tren alternativo, formado, a su vez, por el pistón, la biela y el cigüeñal. La culata es muy sencilla, ya que carece de válvulas y conductos, únicamente se monta la bujía en el centro de la cámara de combustión. En la parte baja del cilindro se practican tres ventanas o lumbreras por las que se realiza el intercambio de gases en el cilindro:

LE: lumbrera de escape.

LA: lumbrera de admisión al cárter.

LT: lumbrera de transferencia, que comunica el cárter con el cilindro.



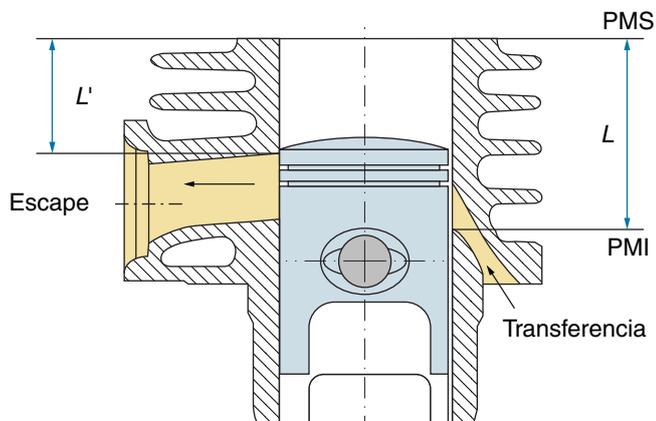
↑ **Figura 18.2.** Ciclo de trabajo del motor Otto de dos tiempos.

Las lumbreras de escape y transferencia (figura 18.3) se posicionan sobre el cilindro de manera que cuando el pistón desciende, primero descubre la de escape y a continuación la de transferencia. En orden inverso sucede cuando asciende, esto significa que la compresión comienza cuando el pistón cubre por completo la lumbrera de escape.

La **relación de compresión efectiva** en el motor de dos tiempos se calcula considerando que el volumen unitario del cilindro (V_u) se obtiene tomando la carrera útil del pistón (L'), que en este caso no comienza en el PMI, sino en el punto más alto de la lumbrera de escape:

$$V_u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L'$$

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$



↑ **Figura 18.3.** Posición de las lumbreras de escape y transferencia.



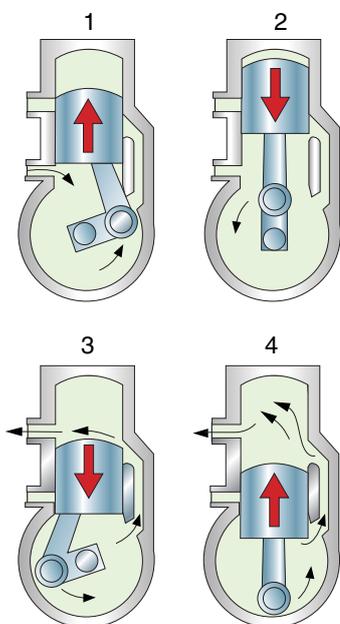
El cárter en estos motores es hermético y no contiene aceite, puesto que en él se comprimen los gases de admisión para ser bombeados al cilindro a través de la lumbrera de transferencia.

El pistón, por tanto, cumple tres funciones:

- Controla la apertura y cierre de las lumbreras en su desplazamiento.
- Realiza la compresión de los gases en la cámara de combustión por su parte superior.
- Lleva a cabo la precompresión de los gases en el cárter por su parte inferior.

2.2. Ciclo de trabajo de dos tiempos

El ciclo de trabajo se completa en dos carreras del pistón, en ellas debe realizarse todo el proceso de funcionamiento.



- 1 Compresión y admisión al cárter
- 2 Encendido y expansión
- 3 Escape y carga del cilindro
- 4 Barrido

↑ **Figura 18.4.** Ciclo de trabajo del motor Otto de dos tiempos.

Primer tiempo

- Final del escape o barrido.
- Admisión al cárter.
- Compresión y encendido.

El pistón comienza su ascenso desde el PMI (4-figura 18.4), los gases quemados salen por la lumbrera de escape, barridos por los gases frescos procedentes del cárter. El pistón cierra la lumbrera de transferencia (1), lo que provoca un vacío en el cárter. Cuando se abre la lumbrera de admisión, el cárter se llena con mezcla fresca de aire y gasolina.

Se cierra la lumbrera de escape y comienza la compresión. Antes de que el pistón llegue al PMS, salta una chispa en la bujía iniciando la combustión de la mezcla comprimida.

Segundo tiempo

- Expansión.
- Escape.
- Precompresión en el cárter.
- Carga del cilindro.

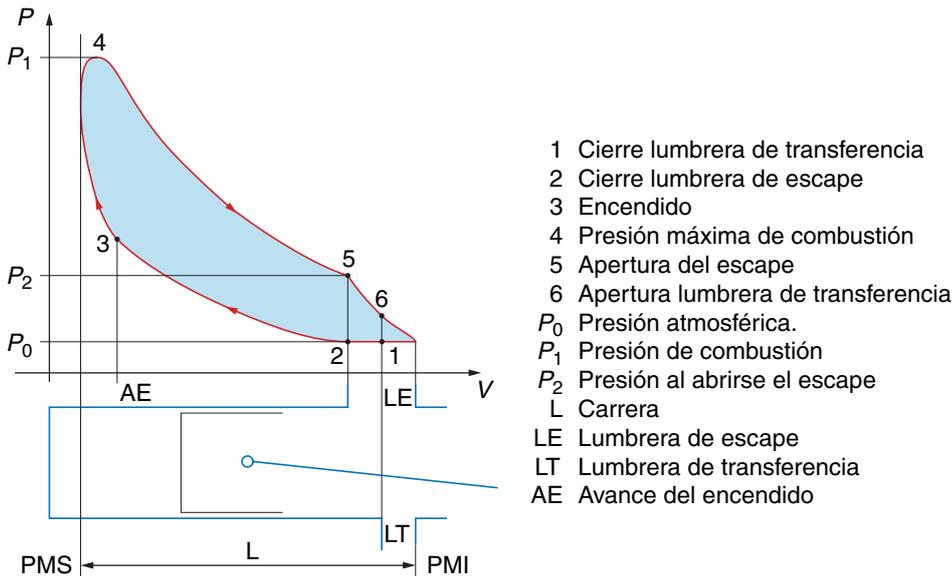
Una vez superado el PMS (2-figura 18.4), la expansión de los gases genera una fuerte presión que hace descender el pistón. Primero descubre la lumbrera de escape (3) y salen los gases a gran velocidad debido a la presión que aún existe dentro del cilindro. Al mismo tiempo, la parte inferior del pistón comprime la mezcla introducida en el cárter. Inmediatamente después se descubre la lumbrera de transferencia y los gases pasan a través de ella desde el cárter hasta el cilindro con una presión de 0,4 a 0,8 bar y se produce el efecto de barrido (4), por el cual los gases frescos empujan a los gases quemados hacia la lumbrera de escape.

Cuando el pistón llega al PMI, comienza su carrera ascendente y el proceso se repite.

El ciclo se completa en dos carreras, logrando, por tanto, un impulso o carrera de trabajo por cada vuelta del cigüeñal.

Diagrama de trabajo

El diagrama de trabajo (figura 18.5), muestra cómo evolucionan los valores de presión y volumen dentro del cilindro en el transcurso de un ciclo de funcionamiento.



↑ Figura 18.5. Diagrama de trabajo.

Partiendo del PMI, el pistón asciende cerrando en primer lugar la lumbrera de transferencia (1), y a continuación la de escape (2).

Comienza la compresión de los gases, el volumen disminuye y aumenta la presión, antes de que el pistón llegue al PMS se produce el encendido (3). Este avance compensa el tiempo que tarda en propagarse la combustión, de forma que, cuando el pistón ha superado ligeramente el PMS, se alcanza la presión máxima (4). Esta presión se aplica sobre la cabeza del pistón que lo hace descender en expansión, ahora el volumen aumenta y la presión dentro del cilindro disminuye progresivamente, hasta que en el punto 5 se descubre la lumbrera de escape, y descarga al exterior los gases quemados.

El tramo 5-6 tiene una duración calculada para que la presión descienda lo suficiente como para poder introducir en el cilindro, a través de la lumbrera de transferencia, los gases frescos comprimidos en el cárter.

Desde el punto 6 al punto 1, se realiza el barrido, expulsando los gases quemados. En el punto 1 se cierra la lumbrera de transferencia y posteriormente la de escape.

2.3. Intercambio de gases en el cilindro

La eficacia en el intercambio de gases en el motor de dos tiempos está condicionada por el hecho de tener que realizar los procesos de admisión y escape de forma prácticamente simultánea y durante un reducido ángulo de giro de cigüeñal. Por esta razón el llenado de los cilindros y por consiguiente el rendimiento volumétrico no es tan bueno como en los motores de cuatro tiempos.

Al no existir una depresión que aspire los gases al interior del cilindro, estos tienen que ser introducidos a presión desde el cárter, esto provoca un efecto de barrido que es aprovechado para desalojar los gases quemados. Además, puesto que la lumbrera de escape permanece abierta después de cerrarse la de transferencia, es inevitable la pérdida de una pequeña cantidad de gases frescos.

caso práctico inicial

El pistón recibe el doble de impulsos que en un cuatro tiempos pero el rendimiento volumétrico es peor.



Lumbrera de admisión al cárter

La mezcla de aire y gasolina preparada por el carburador es introducida en el cárter a través de la lumbrera de admisión (figura 18.6). Al subir el pistón se crea un vacío en el cárter, instantes después se descubre la lumbrera y la mezcla entra. Cuando el pistón baja, cierra la lumbrera y comprime la mezcla.

caso práctico inicial

El motor de dos tiempos no tiene válvulas ni sistema de distribución, el intercambio de gases se realiza por lumbreras.

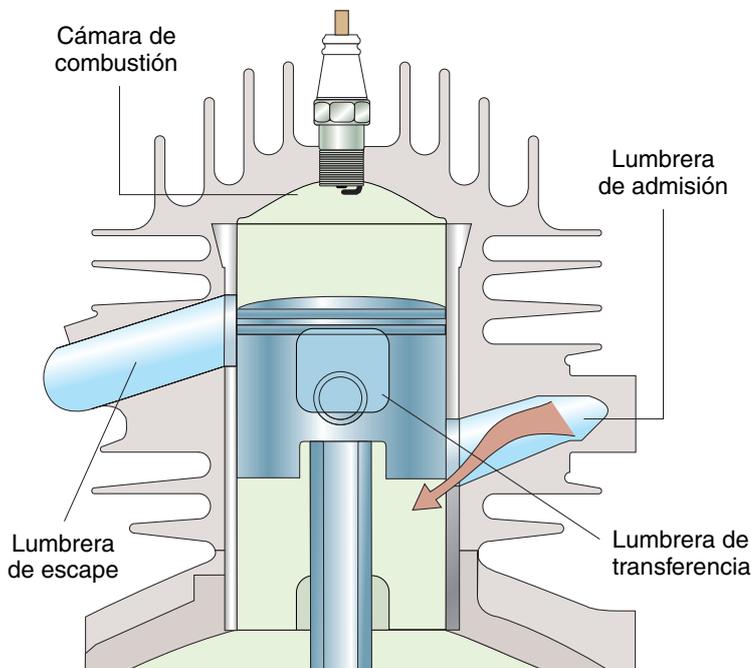
Este sencillo sistema presenta el inconveniente de que cuando el pistón desciende se puede producir un retroceso de gases hacia el exterior antes de llegar a cerrarse la lumbrera. Esto ocurre a bajas revoluciones, cuando el pistón no cierra con suficiente rapidez.

El proceso de admisión en el cárter mejora notablemente disponiendo, en el conducto de entrada, una válvula que permita el paso del gas únicamente en el sentido del carburador al cárter, y cierre cuando el gas pretende ir en sentido contrario.

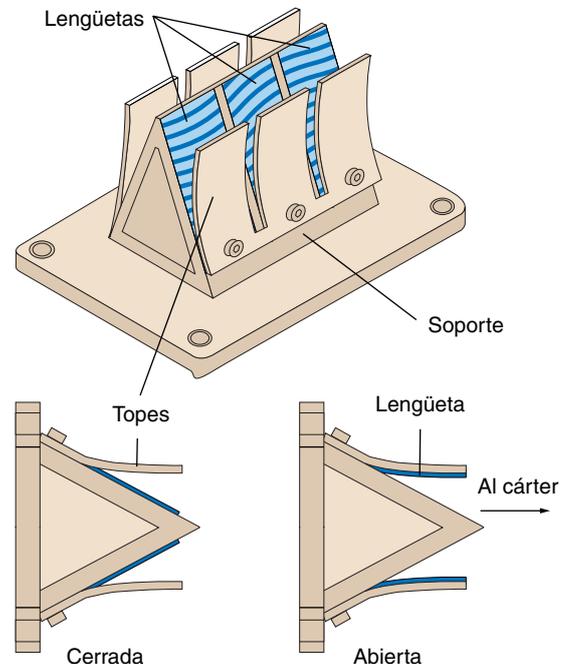
Esta válvula puede ser de lengüeta o de tipo rotatorio. En la actualidad es de uso general la válvula de lengüeta.

La **válvula de lengüeta** (figura 18.7) consta de un soporte sobre el que se instalan unas finas láminas o lengüetas fijadas por uno de sus extremos de forma que en reposo quedan cerradas y pueden bascular en un solo sentido de apertura. En su parte superior van provistas de unos topes para limitar su recorrido.

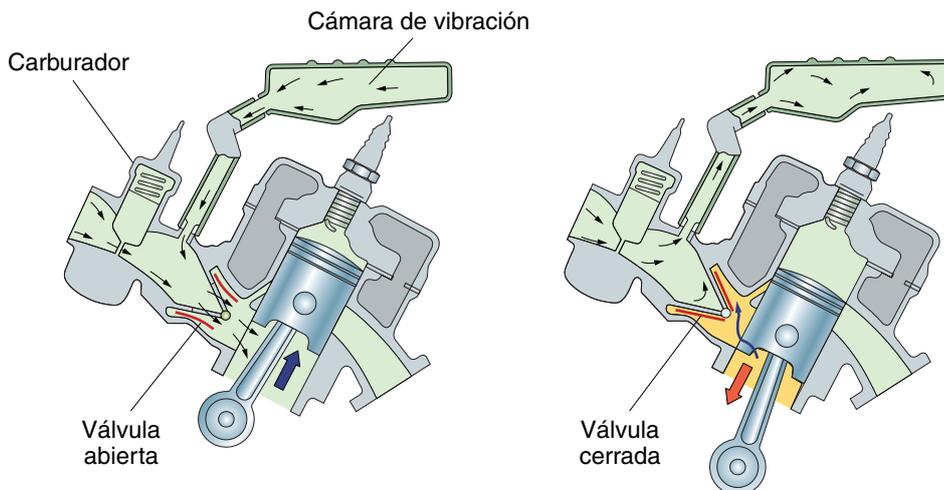
Se sitúan sobre el conducto de entrada del cárter (figura 18.8) de manera que cuando el pistón sube genera una depresión en el interior del cárter que abre las láminas de la válvula y permite la entrada de los gases. Las láminas se cierran cuando la presión en el cárter es igual o superior a la exterior evitando así que se produzca retorno de los gases cuando son comprimidos por el descenso del pistón. Algunos sistemas incluyen una cámara de vibración cuya función es recoger la mezcla que retorna cuando se cierra la válvula para evitar que vuelva a pasar por el carburador modificando su riqueza.



↑ Figura 18.6. Admisión de la mezcla en el cárter.



↑ Figura 18.7. Válvula de lengüeta.



↑ **Figura 18.8.** Lumbreira de admisión provista de válvula de lengüeta.

La lengüeta de la válvula debe reunir dos importantes cualidades: flexibilidad y resistencia, para que sea efectiva en un amplio número de revoluciones. Esto es difícil de conseguir ya que una lengüeta fuerte calculada para soportar altos regímenes será poco elástica en baja, por el contrario una lengüeta muy flexible puede llegar a romperse a altas revoluciones.

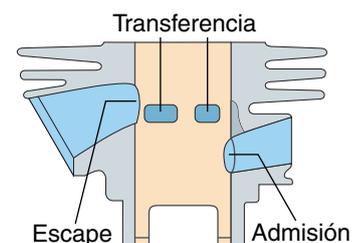
El material empleado para fabricar las lengüetas suele ser el acero y en algunos casos plástico o fibra de carbono. El acero permite hacer unas láminas muy finas con buena elasticidad y gran resistencia que son eficaces a bajo y medio régimen. Con alto número de revoluciones son más adecuadas las válvulas de fibra de carbono, capaces de seguir elevadas frecuencias de apertura. Los topes que se colocan por encima de las lengüetas limitan el movimiento de estas a la vez que guían la forma en que se curvan para evitar su rotura.

La apertura y cierre de la lumbreira de admisión ya no depende únicamente del movimiento del pistón, sino también de la presión existente en el cárter; de esta manera el llenado es más eficaz, ya que los movimientos de la válvula se adaptan al número de revoluciones, lo que produce una mejora en el rendimiento volumétrico del motor.

Lumbreras de escape y transferencia

El llenado del cilindro con gases frescos y la expulsión de los gases quemados se realiza a través de las lumbreras de transferencia y escape, respectivamente. Su posición sobre el cilindro (figura 18.9) va a determinar los ángulos que estarán disponibles para efectuar el intercambio de gases. Los puntos en los cuales las lumbreras son abiertas y cerradas por el desplazamiento del pistón han de calcularse convenientemente en función de las características del motor, ya que van a establecer el régimen de revoluciones al que se consigue un mejor llenado y, por consiguiente, una mejor respuesta del motor.

En motores muy revolucionados los ángulos serán mayores para compensar el menor tiempo disponible, teniendo presente que no son aconsejables avances a la apertura del escape superiores a 90° antes de PMI, ya que se acorta en exceso la carrera de expansión, perdiéndose una buena parte de la energía de la combustión.



↑ **Figura 18.9.** Posición de las lumbreras sobre el cilindro.



Cuando el pistón desciende en expansión descubre en primer lugar la lumbrera de escape, los gases quemados salen rápidamente y el interior del cilindro queda despresurizado. A continuación se abre la lumbrera de transferencia. Entre la apertura de ambas lumbreras debe transcurrir de 10° a 15° de giro del cigüeñal para garantizar que la presión baja lo suficiente como para permitir la entrada de gases frescos procedentes del cárter. Los gases comprimidos en el cárter entran en el cilindro a través de la lumbrera de expansión provocando el efecto de barrido sobre los gases quemados que aún permanecen en el cilindro.

El intercambio de gases es un proceso abierto, es decir, la lumbrera de escape permanece abierta mientras se realiza el llenado del cilindro. Dado que los gases quemados salen con cierta presión, se originan ondas que se desplazan por el conducto de escape hasta chocar con su extremo saliendo reflejadas en dirección al cilindro.

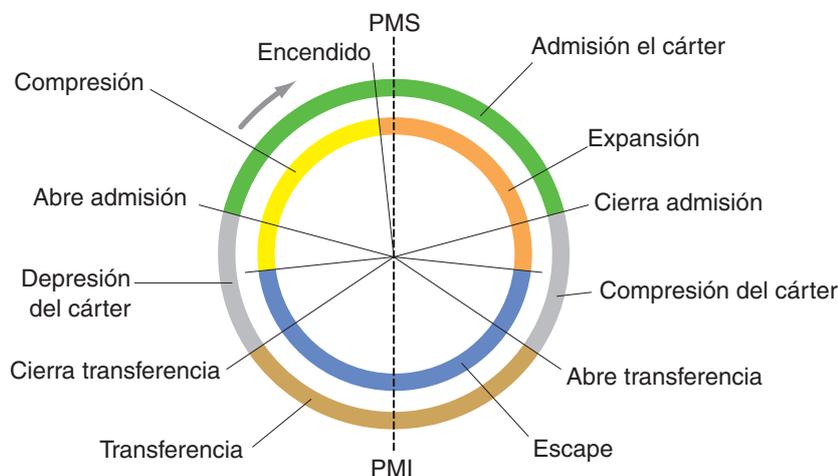
Este **proceso oscilatorio del escape** afecta a la entrada de gases frescos en el cilindro. Al abrirse la lumbrera de escape, los gases son impulsados hacia el exterior, pero el retorno de la onda empuja los gases en sentido contrario de manera que, momentos antes de cerrarse la lumbrera de escape, este impulso puede ser utilizado para reintroducir en el cilindro los gases frescos que son arrastrados hacia el escape. En los motores de dos tiempos tiene gran importancia sincronizar adecuadamente estos movimientos de la masa gaseosa para lograr que el proceso de barrido sea eficaz.

La velocidad de desplazamiento de la onda de presión es constante, por lo tanto, la frecuencia de las oscilaciones depende principalmente de la forma y las dimensiones de los conductos de escape. A medida que aumenta el régimen en el motor disminuye el tiempo que la lumbrera de escape permanece abierta, y por tanto, solamente es posible coordinar de forma favorable los efectos oscilatorios para un determinado margen de revoluciones.

Las dimensiones del sistema de escape no deben ser modificadas, ya que influiría negativamente sobre el rendimiento del motor, el consumo y el ruido.

Diagrama de distribución

El diagrama de distribución es simétrico (figura 18.10), ya que el pistón realiza la apertura y el cierre de lumbreras con el mismo recorrido respecto del PMI, en sentido descendente o ascendente.



↑ **Figura 18.10.** Diagrama de distribución simétrico del motor de dos tiempos.

Las lumbreras son descubiertas cuando el pistón desciende en su carrera de trabajo; si se adelanta su apertura, el trabajo útil que se obtiene es menor, sin embargo, aumentan los ángulos disponibles para realizar el intercambio de gases, con lo cual mejora el rendimiento volumétrico.

Si la apertura de lumbreras se retrasa, el efecto será el contrario, por lo que es necesario una solución de compromiso entre ambas posiciones, siempre en función de las características del motor.

El valor del ángulo de apertura del escape respecto al PMI oscila entre 75° y 85° , para motores muy revolucionados, y de 55° a 75° , para motores que necesitan un buen llenado en la gama baja y media de revoluciones.

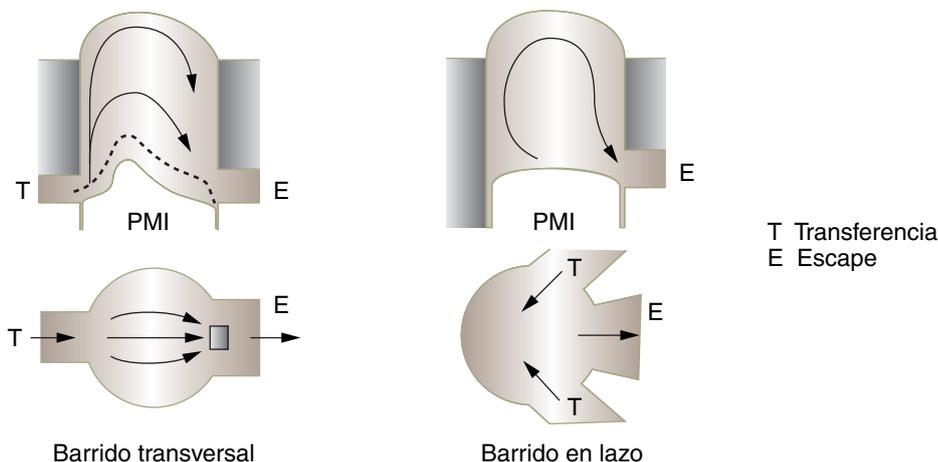
El ángulo disponible para escape es, por término medio, de 120° a 160° , y para la carga del cilindro unos 24° menos. Comparado con el motor de cuatro tiempos estos ángulos quedan muy reducidos, por lo que se consigue un peor rendimiento volumétrico.

2.4. Tipos de barrido

En el corto espacio de tiempo disponible para efectuar el barrido se debe lograr un buen llenado del cilindro y una eficiente expulsión de los gases quemados, evitando, en lo posible, el escape de gases frescos. Para ello es necesario orientar convenientemente la corriente de barrido por el interior del cilindro y evitar la mezcla entre gases frescos y gases quemados.

En los motores Otto de dos tiempos los procedimientos utilizados son (figura 18.11):

- Barrido transversal.
- Barrido en lazo o lazo Schnurle.



↑ Figura 18.11. Procedimientos de barrido.

Barrido transversal

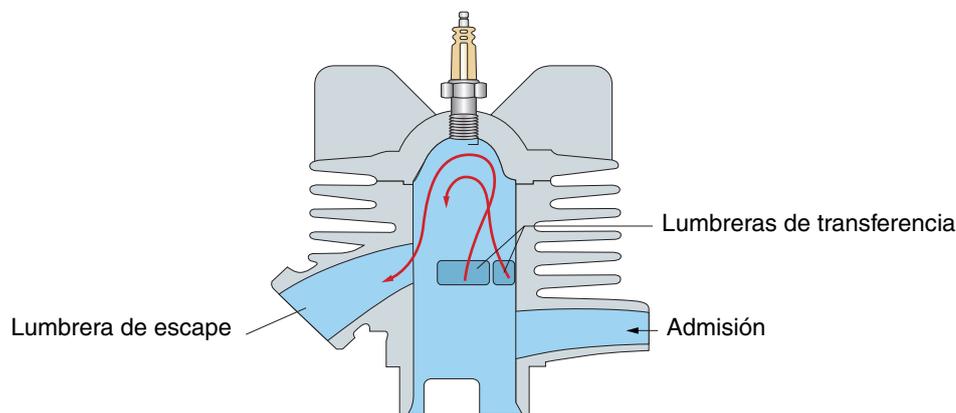
Consiste en situar la lumbrera de transferencia frente a la de escape. Sobre la cabeza del pistón se dispone un deflector que desvía la corriente de entrada, barriendo el cilindro de abajo arriba, y terminando en la lumbrera de escape. Este procedimiento prácticamente ha dejado de utilizarse debido a la cantidad de gases frescos que deja escapar, además el deflector provoca problemas térmicos en el pistón.



Barrido en lazo

Fue desarrollado por el alemán V. Schnurle, que le dio su nombre. Es el sistema más utilizado actualmente, consta de entre 2 y 5 lumbreras de transferencia situadas a ambos lados de la lumbrera de escape (figura 18.12). Los canales de entrada están orientados de forma que los gases frescos que se introducen son enviados hacia arriba. En la zona superior se juntan las corrientes de barrido procedentes de cada lumbrera y descienden empujando los gases quemados hacia la lumbrera de escape.

Este sistema consigue una buena eficacia de barrido y la pérdida de gases frescos es mínima, aunque en la parte superior del cilindro queda sin barrer un pequeño núcleo de gases quemados. La cabeza del pistón puede ser plana.



↑ **Figura 18.12.** Barrido en lazo con lumbreras múltiples.

2.5. Comparación de motores Otto de dos y cuatro tiempos

El motor Otto de dos tiempos tiene una **constitución sencilla**, carece de sistema de distribución y de circuito de engrase a presión. Su fabricación y mantenimiento son muy económicos, por lo que es idóneo para pequeñas cilindradas. Los motores de cuatro tiempos con cilindradas inferiores a 150 cm³ tienen un bajo rendimiento y resultan más costosos.

El consumo específico de combustible es mayor en los motores de dos tiempos, ya que necesitan un alto régimen de revoluciones para mejorar su rendimiento, y con bajas revoluciones se pierde combustible sin quemar por el escape, que cierra después de la admisión.

El rendimiento volumétrico máximo de un motor de dos tiempos no supera el 70%, mientras que en el motor de cuatro tiempos se consigue hasta un 90%. Esto se debe a que el ángulo disponible para realizar el llenado es notablemente menor en el de dos tiempos.

El par que se obtiene en el motor de dos tiempos es mayor y más uniforme que en el de cuatro, ya que el pistón recibe doble número de impulsos y, consecuentemente, **la potencia** también es mayor cuando se alcanza un elevado régimen. Sin embargo, el motor de dos tiempos tiene una acusada pérdida de energía, producida por el trabajo que se emplea en bombear la mezcla desde el cárter hasta el cilindro, y por la necesidad de acortar la carrera de expansión, descargando parte de la presión por el escape, para poder realizar el barrido.

En resumen, se puede decir que el motor de dos tiempos tiene un bajo rendimiento, tanto mecánico como volumétrico, pero a cambio realiza doble número de carreras de trabajo que el de cuatro tiempos, logrando buenas cifras de par y de potencia.

3. Principales componentes del motor de dos tiempos

Veremos a continuación las características constructivas más importantes de los elementos que componen el motor de dos tiempos.

3.1. Pistón

El pistón está sometido a fuertes solicitaciones debido a que soporta doble número de carreras de trabajo que el motor de cuatro tiempos. Alcanza altas temperaturas que dan lugar a una elevada dilatación, por lo que es necesario disponer un mayor juego de montaje respecto al cilindro.

Cuenta con un diseño apropiado para que la dilatación se realice de forma controlada. La cabeza del pistón recibe la mayor parte del calor, por lo que el diámetro en esta zona es ligeramente menor que en la falda, además toma una forma levemente ovalada cuando el pistón está frío. Conforme adquiere temperatura, se dilata en mayor medida en el diámetro longitudinal del bulón, por ser en esta zona donde se concentra mayor cantidad de metal, de manera que cuando está a su temperatura de funcionamiento, el pistón queda perfectamente cilíndrico y ajustado a su camisa con la holgura adecuada.

El pistón (figura 18.13) se fabrica con una aleación de aluminio y silicio comúnmente empleada en todo tipo de motores, este material es ligero, resistente y buen conductor del calor.

Los antiguos pistones con deflector prácticamente han dejado de utilizarse debido a que las altas temperaturas producían deformaciones sobre la cabeza del pistón. En la actualidad, mediante la utilización del barrido en lazo, los gases entran en el cilindro ya orientados gracias a una adecuada inclinación de las lumbreras, de manera que puede utilizarse un pistón de cabeza plana de fabricación más sencilla y donde las cargas térmicas se reparten uniformemente.

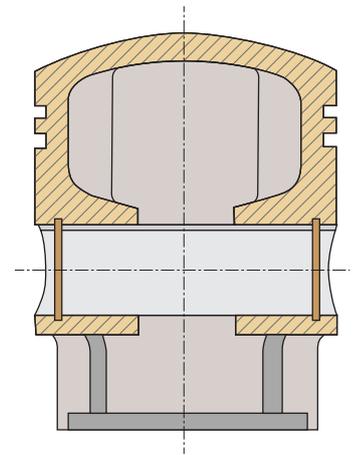
Para lograr la estanqueidad del pistón se montan normalmente dos segmentos de compresión. El segmento rascador de aceite no es necesario en estos motores, ya que el aceite se introduce mezclado con el combustible, y se deposita en las paredes del cilindro en la cantidad justa, y nunca en exceso como ocurre con el sistema de engrase a presión.

Los **segmentos** tienen que quedar orientados sobre el pistón de forma que sus extremos no coincidan con las lumbreras, ya que podrían introducirse en ellas y romperse causando graves daños. Para impedir su rotación durante el funcionamiento se colocan unas espigas en sus alojamientos que los inmovilizan (figura 18.14).

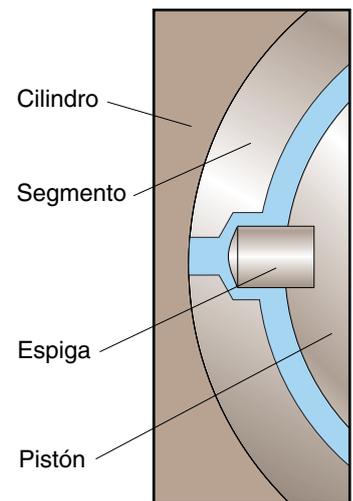
El **bulón** debe estar incomunicado interiormente para evitar el paso de gases a través de él. Se mantiene en su alojamiento mediante anillos elásticos de seguridad.

3.2. Biela

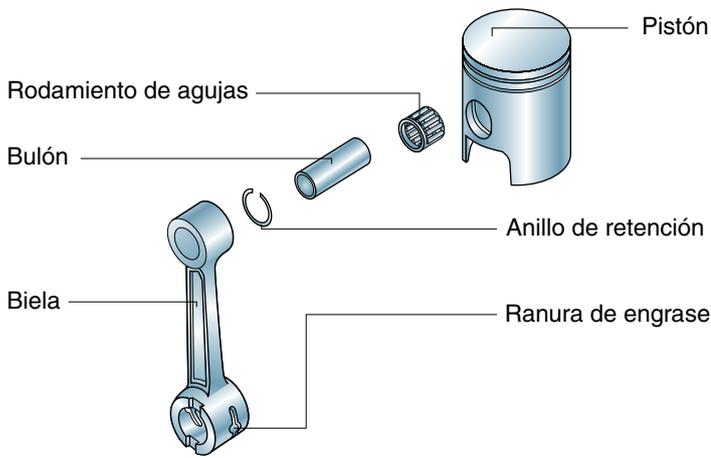
La biela (figura 18.15) tiene formas exteriores redondeadas y suaves para interferir lo menos posible en la corriente de los gases.



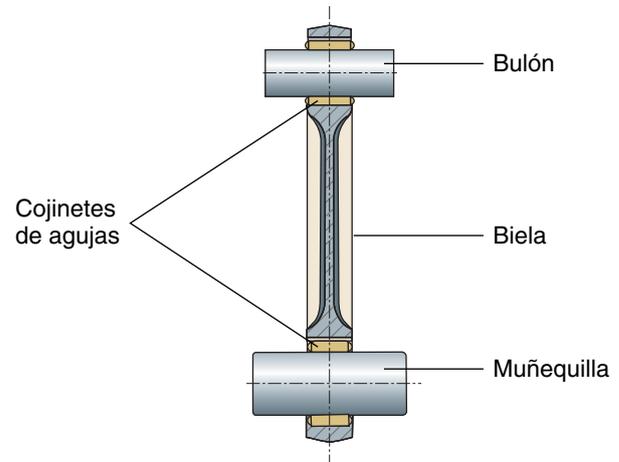
↑ Figura 18.13. Pistón seccionado.



↑ Figura 18.14. Segmento con espiga de posición.



↑ Figura 18.15. Conjunto pistón y biela.



↑ Figura 18.16. Cabeza y pie de biela con cojinetes de agujas.

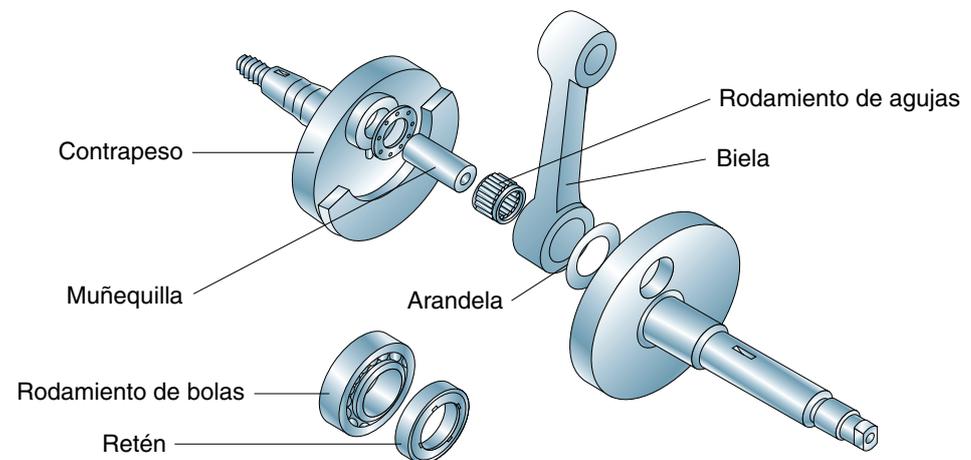
La característica más destacable de las bielas para motores de dos tiempos es que sus articulaciones van provistas de **cojinetes de rodillos o agujas**, en lugar de cojinetes de fricción (figura 18.16), ya que estos últimos necesitarían para su correcto funcionamiento engrase a presión, sin embargo los rodamientos pueden funcionar con pequeñas cantidades de aceite.

En la articulación de la cabeza de biela se utiliza normalmente un rodamiento de agujas, ya que este tipo de cojinete soporta muy bien los esfuerzos radiales por ofrecer una amplia superficie sobre la que se reparten las presiones. Con el fin de aumentar la resistencia del conjunto, el orificio de la cabeza de biela se hace entero, es decir, no es desmontable como en los motores de cuatro tiempos.

En el pie de biela, la articulación con el bulón puede hacerse mediante cojinetes de agujas o de fricción, en función de los esfuerzos que deba soportar.

3.3. Cigüeñal

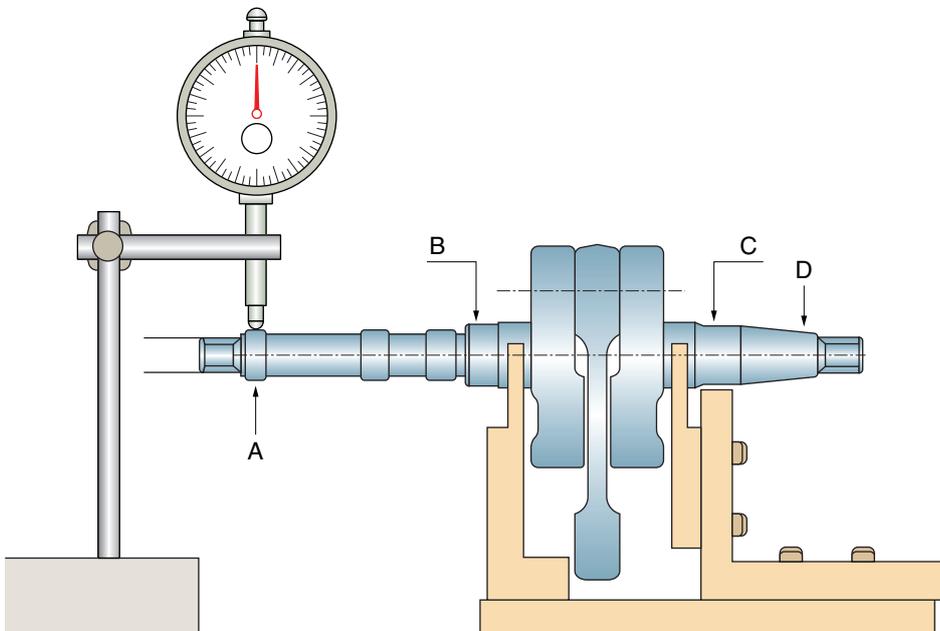
El cigüeñal gira sobre **rodamientos de bolas** (figura 18.17). Igual que los cojinetes de biela están lubricados por el aceite mezclado con el combustible a su paso por el cárter. Los rodamientos se insertan a presión sobre los apoyos del cigüeñal y están provistos de retenes selladores para garantizar la hermeticidad del cárter, donde se realiza la compresión previa de la mezcla.



↑ Figura 18.17. Conjunto biela y cigüeñal.

Los contrapesos del cigüeñal forman discos completos y además hacen la función de volante motor. El equilibrado se consigue mediante orificios en los discos que eliminan masa de las zonas adecuadas.

El cigüeñal es desmontable para posibilitar la extracción de la biela. La muñequilla se monta a presión sobre los contrapesos, para su desmontaje se utiliza una prensa y el útil adecuado. Se separa al menos uno de los contrapesos para dejar libre un extremo de la muñequilla y poder sacar la cabeza de biela y el cojinete de agujas. El montaje se realiza también con prensa, a continuación es necesario comprobar la correcta alineación de los apoyos del cigüeñal con un reloj comparador sobre los puntos A, B, C y D (figura 18.18).



↑ Figura 18.18. Control de la alineación del cigüeñal.

En uno de los extremos del cigüeñal se monta el generador eléctrico y el ventilador en los motores con sistema de refrigeración por aire forzado. En el otro extremo se monta el variador de velocidad, o bien el engranaje de transmisión para el embrague.

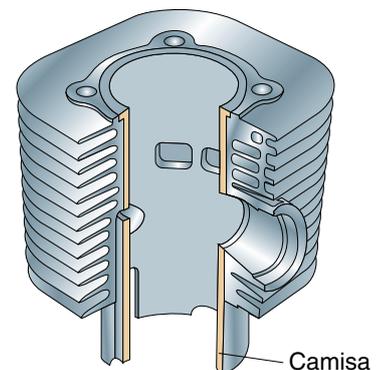
3.4. Cilindro y cárter

El cilindro se fabrica en hierro fundido o en aleación ligera. Rodeando al cilindro se disponen las cámaras para el líquido cuando la refrigeración es por agua, o bien va provisto de aletas si es refrigerado por aire.

Cuando el bloque es de aluminio se inserta a presión un cilindro de hierro fundido (camisa seca). Las paredes de la camisa tienen un espesor suficiente para que puedan ser rectificadas, o si fuera necesario sustituirlas (figura 18.19).

En el motor de dos tiempos se forman dos cámaras estancas separadas por el pistón, una en el cilindro y la otra en el cárter.

El cárter del cigüeñal no contiene aceite y sus dimensiones se ajustan a la forma del cigüeñal y de sus contrapesos para conseguir un volumen reducido. Se comunica con el carburador a través de la lumbrera de admisión y con el cilindro por la de transferencia.

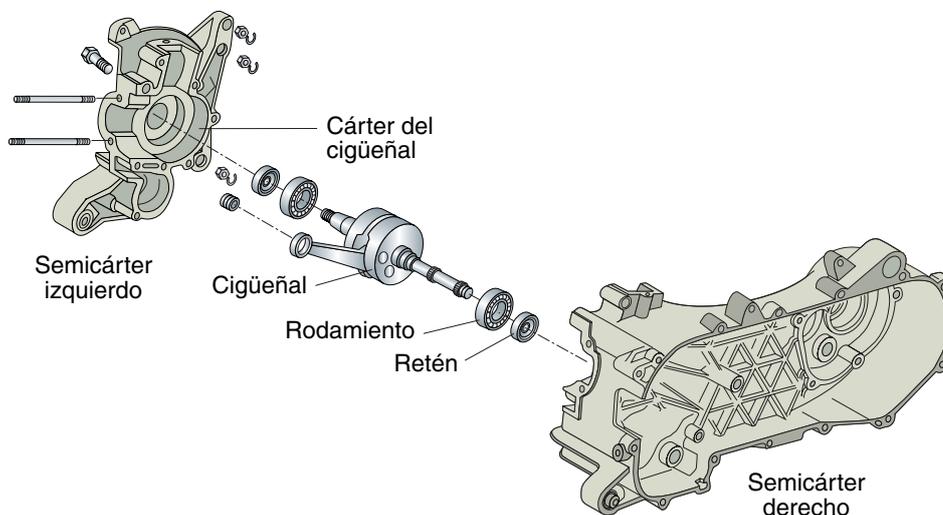


↑ Figura 18.19. Camisa insertada en el bloque.



El cárter motor está formado por dos piezas (semicárteres) unidas por tornillos y hermetizadas con una junta (figura 18.20), en cada lado se mecanizan los alojamientos para el retén de estanqueidad y los cojinetes del cigüeñal que se introducen a presión sobre su pista exterior.

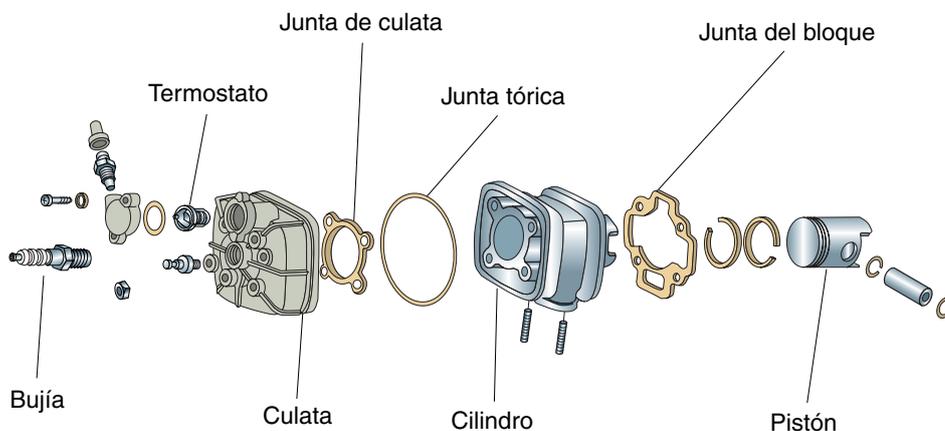
Para acceder al cigüeñal es necesario separar los semicárteres. Esta operación se realiza con un extractor debido a que los rodamientos se insertan a presión sobre sus alojamientos. En el montaje se calienta el alojamiento para introducir el rodamiento con facilidad. Durante el ensamblado del cárter debe prestarse especial atención a su hermeticidad tanto en la junta como en los retenes estancos de los rodamientos.



↑ **Figura 18.20.** Conjunto cárter y cigüeñal.

3.5. Culata

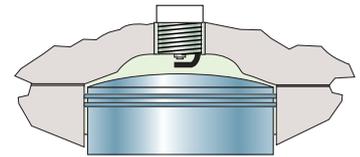
La principal función de la culata en los motores de dos tiempos es alojar la cámara de combustión y la bujía. Se fabrica generalmente en aleación ligera y su forma exterior depende del sistema de refrigeración. Las culatas refrigeradas por aire van provistas de aletas y las que lo hacen por agua, llevan conductos para el líquido; en ocasiones el termostato se instala sobre la culata (figura 18.21).



↑ **Figura 18.21.** Culata y cilindro refrigerados por agua.

La cámara de combustión generalmente tiene forma semiesférica. Este tipo de cámara es posible gracias a la ausencia de válvulas, presenta una reducida superficie respecto a su volumen, lo cual favorece el proceso de combustión y permite relaciones de compresión altas. La cámara de combustión con el borde rebajado concentra la mezcla en el centro de la cámara donde se encuentra la bujía, la turbulencia del gas mejora la homogeneidad de la mezcla y se logra una combustión más rápida y completa (figura 18.22).

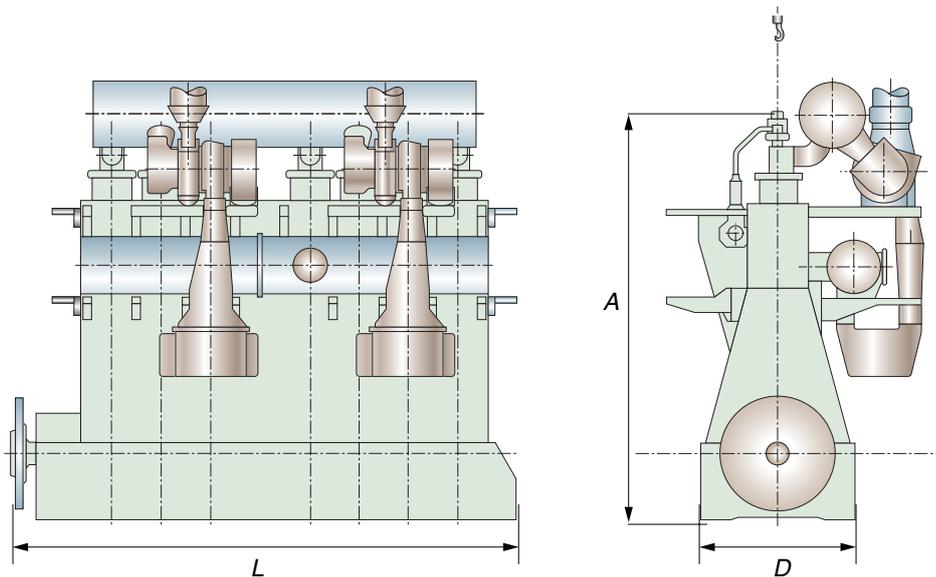
La culata se fija al bloque mediante 4 o 6 tornillos, la estanqueidad entre ambas piezas se logra interponiendo la junta de culata que suele ir forrada con una lámina de cobre por ambas caras.



↑ Figura 18.22. Cámara de combustión con el borde rebajado.

4. El motor Diesel de dos tiempos

El Diesel de dos tiempos se usa casi exclusivamente en propulsión marina por su sencillez mecánica y su bajo consumo. Son motores de gran cilindrada y desarrollan potencias que superan los 35.000 kW, giran lentamente, entre 80 y 200 rpm, por lo que hay tiempo suficiente para realizar un buen barrido. La presión necesaria para introducir el aire en el cilindro es proporcionada por un turbocompresor, o bien por un compresor volumétrico, en lugar de realizarse a través del cárter. En los Diesel no existen pérdidas de combustible por el escape al final del barrido ya que se introduce únicamente aire.



Nº de cilindros	4	8	12
Potencia (kW)	11.600	23.200	34.800
Peso (t)	605	1.010	1.395
L (mm)	10.935	17.095	23.335
A (mm)	12.039		
D (mm)	4.780		

Cilindro

Diámetro (mm) = 900
Carrera (mm) = 2.180

Régimen de giro

97 rpm

Figura 18.23. Características de un motor Diesel de dos tiempos de gran cilindrada.



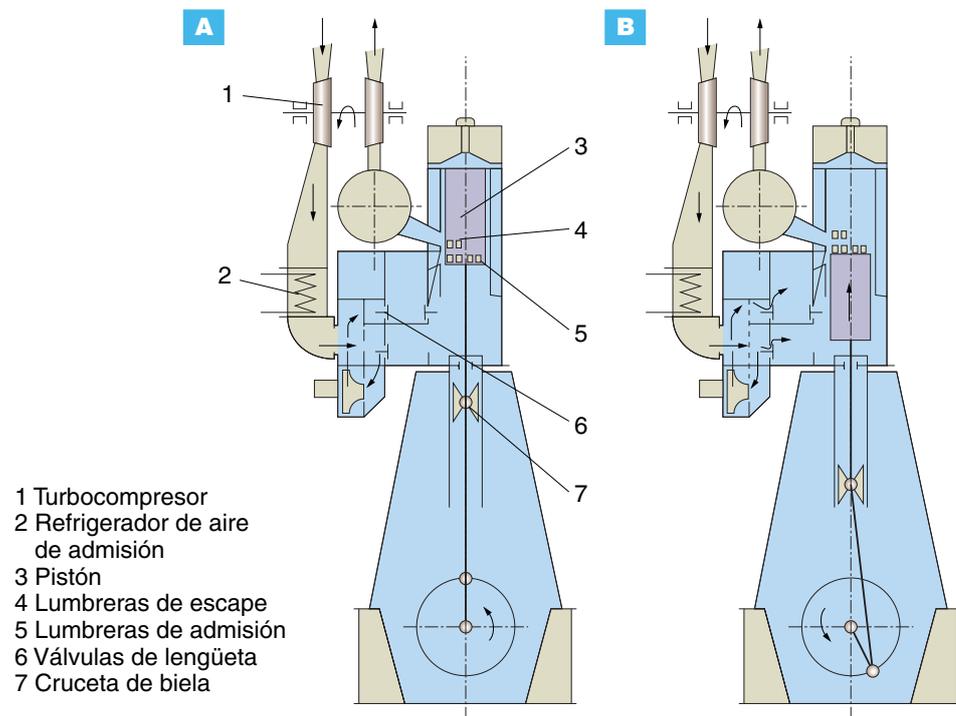
4.1. Ciclo de trabajo

El ciclo de funcionamiento del motor Diesel de dos tiempos difiere en algunos aspectos del ciclo del motor Otto, principalmente en la manera de realizar el barrido, además de las diferencias ya conocidas en la alimentación del combustible y la forma de iniciar la combustión.

Primer tiempo

- Final del barrido.
- Compresión e inyección.

Partiendo del PMI, el pistón comienza a subir mientras se realiza la última fase del barrido (B-figura 18.24). Se cierran las lumbreras de admisión y escape, y el aire contenido en el cilindro se comprime. Momentos antes de que el pistón llegue al PMS se produce la inyección de combustible que se inflama al contacto con el aire caliente comprimido en la cámara de combustión.



↑ **Figura 18.24.** Motor Diesel de dos tiempos turboalimentado.

Segundo tiempo

- Expansión.
- Escape.
- Llenado del cilindro.

En el PMS, la presión originada en la combustión, es aplicada sobre la cabeza del pistón que comienza a descender en expansión (A-figura 18.24). Se descubre la lumbrera de escape descargando la presión y, a continuación, la de admisión que permite la entrada de aire impulsado por la bomba de soplado con una presión entre 1 y 1,4 bar.

Este aire realiza el barrido por el interior del cilindro, que obliga a expulsar los gases quemados por la lumbrera de escape y también parte del aire que suministra la bomba con el fin de asegurar un buen barrido. Este barrido se prolonga hasta que, al subir el pistón, cierra las lumbreras.

4.2. Particularidades constructivas

La mayor parte de estos motores usan como bomba de barrido un turbocompresor accionado por los gases de escape, por lo que son necesarios intercambiadores de calor para refrigerar el aire antes de ser admitido en los cilindros.

En la entrada de las lumbreras de admisión se colocan válvulas de láminas que permanecen cerradas siempre que la presión interior sea superior a la de admisión. Una vez que se haya descargado la presión por el escape, comienza a entrar el aire de barrido que es dirigido por una adecuada inclinación de las lumbreras. Parte del aire fresco es expulsado directamente por la lumbrera de escape (figura 18.25), este efecto se conoce como cortocircuito y tiene el objetivo de eliminar totalmente los gases quemados, así como de refrigerar la cabeza del pistón y el interior del cilindro.

Los elementos móviles son voluminosos y muy pesados, lo cual requiere un régimen de giro muy lento, que además se mantiene prácticamente constante, por lo que se dispone de unas condiciones favorables para realizar la evacuación de los gases quemados y un buen llenado de aire fresco.

Por todo ello, el consumo específico de combustible en estos motores es muy bajo y la potencia efectiva que se obtiene es muy elevada.

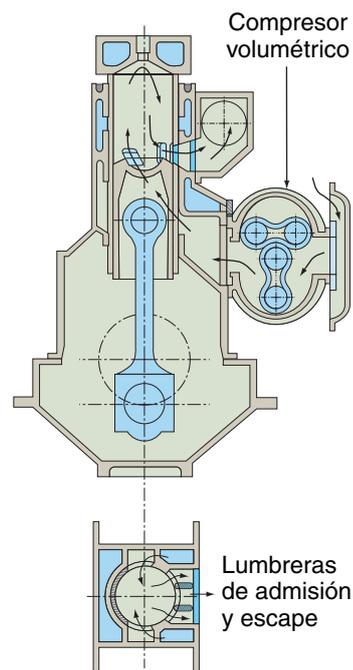
Barrido equicorriente o uniflujo

En los Diesel de dos tiempos se emplean diversos tipos de barrido, entre ellos el barrido en lazo y el transversal. Uno de los más empleados por sus buenos resultados es el barrido equicorriente, también llamado uniflujo (figura 18.26).

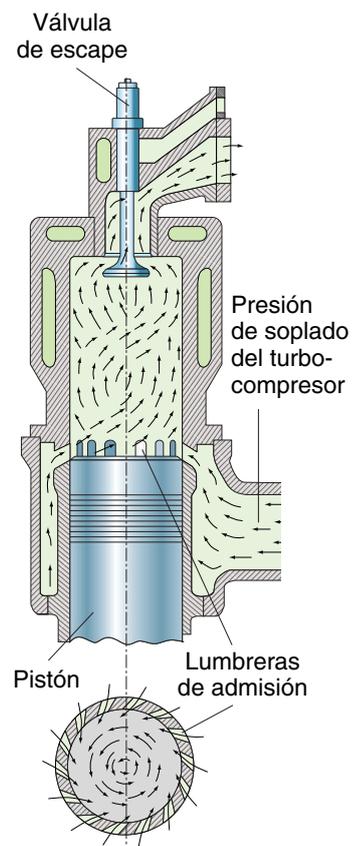
Este sistema requiere la instalación de válvulas de escape con todos los elementos de la distribución, lo cual complica su mecánica y elimina una de las ventajas de la sencillez del motor de dos tiempos.

Las lumbreras de admisión se sitúan en la parte baja del cilindro y están orientadas de forma que la corriente de aire admitida adquiere un movimiento circular que barre tangencialmente el cilindro de abajo arriba. Los gases son expulsados por la válvula de escape, que ha sido abierta con la suficiente antelación para descargar la presión al final de la expansión, y cierra momentos después de que el pistón cubra las lumbreras de admisión. Los puntos de apertura y cierre del escape ya no dependen del desplazamiento del pistón, sino que pueden calcularse los ángulos más convenientes como en el motor de cuatro tiempos. En este caso, el diagrama de distribución correspondiente al escape puede ser asimétrico.

La válvula de escape permite un barrido muy eficiente, además, al no existir la lumbrera de escape, se logra un mejor aprovechamiento de la presión de la combustión debido a que aumenta la carrera de expansión. Las ventajas que esto aporta compensan, en la mayoría de los casos, la complejidad mecánica que supone la instalación de las válvulas.



↑ **Figura 18.25.** Motor con barrido en lazo y compresor volumétrico del tipo Roots.

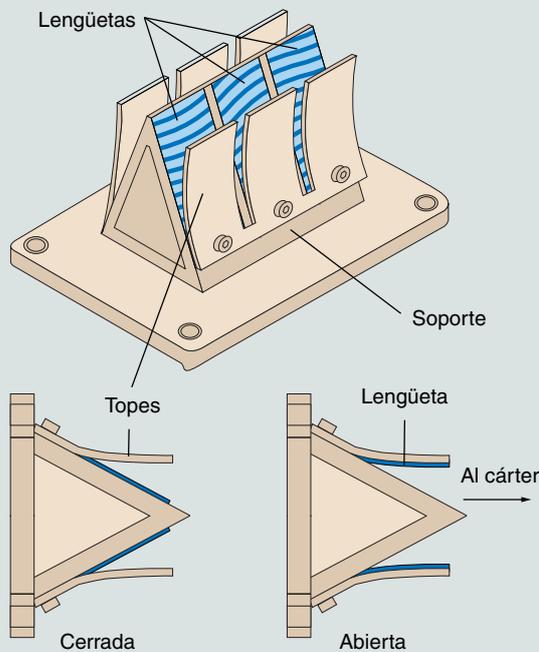


↑ **Figura 18.26.** Barrido equicorriente con válvula de escape.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Qué funciones cumple el pistón en un motor de dos tiempos?
- 2. Explica el ciclo de funcionamiento de dos tiempos.
- 3. Dibuja el diagrama de trabajo indicando cada una de sus partes.
- 4. ¿Cuáles son las razones del bajo rendimiento volumétrico del motor de dos tiempos?
- 5. ¿Qué ventajas aporta la instalación de una válvula de lengüeta en la lumbrera de admisión?



- 6. ¿Qué ángulo gira el cigüeñal entre la apertura de la lumbrera de escape y la de admisión y por qué?
- 7. ¿En qué consiste el barrido?
- 8. ¿Cómo se realiza el barrido en lazo?
- 9. ¿Qué diferencias existen entre el barrido en lazo y el transversal?
- 10. Dibuja el diagrama de distribución indicando los siguientes puntos: apertura y cierre de la lumbrera de escape; apertura y cierre de la lumbrera de transferencia; apertura y cierre de la lumbrera de admisión; ángulos de compresión y expansión; y ángulos de admisión y compresión en el cárter.
- 11. ¿Qué ventajas tiene el motor de dos tiempos respecto al de cuatro?
- 12. ¿Por qué motivo el cigüeñal y la biela giran sobre rodamientos en lugar de hacerlo sobre cojinetes de fricción?
- 13. ¿Qué tipo de cámara de combustión usan generalmente los motores de dos tiempos?
- 14. Explica el proceso de barrido en un motor Diesel de dos tiempos.
- 15. ¿Qué ventajas tiene la instalación de válvulas de escape en el motor Diesel?
- 16. Explica cómo se realiza el barrido equicorriente o uniflujo.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 La lumbrera por la cual pasan los gases del cárter al cilindro se denomina:

- a) Lumbrera de transmisión.
- b) Lumbrera de admisión.
- c) Lumbrera de transferencia.
- d) Lumbrera de escape.

2 ¿Cuál es la medida de la carrera útil del pistón que se utiliza para calcular la relación de compresión efectiva en el motor de dos tiempos?

- a) Desde que cierra la lumbrera de transferencia al PMS.
- b) Desde que cierra la lumbrera de escape al PMS.
- c) Desde la cabeza del pistón al PMS.
- d) Desde el PMI al PMS.

3 ¿En el motor Otto de dos tiempos qué es lo que impulsa a los gases frescos a entrar en el cilindro?

- a) La presión creada en el cárter.
- b) El vacío que produce el descenso del pistón.
- c) El vacío que produce la salida de los gases de escape.
- d) La contrapresión en el escape.

4 ¿Cómo se comporta la válvula de lengüeta en la lumbrera de admisión?

- a) Cierra el paso de los gases hacia la lumbrera de transferencia.
- b) Deja paso solo cuando el gas se dirige hacia el cárter y se cierra cuando es empujado en sentido contrario.
- c) Comunica la admisión con el escape.
- d) Realiza el barrido de los gases de escape.

5 ¿Cómo se denomina el efecto por el cual los gases quemados son dirigidos hacia el escape por el empuje de los gases de admisión?

- a) Transferencia.
- b) Turbulencia.
- c) Escape.
- d) Barrido.

6 ¿De qué manera se evita que los extremos de los segmentos se introduzcan en las lumbreras del cilindro?

- a) Los segmentos se colocan por debajo del bulón.
- b) Los segmentos se montan a presión en el pistón.
- c) Los segmentos se inmovilizan mediante una espiga.
- d) No se montan segmentos en el motor de dos tiempos.

7 ¿Por qué motivo es necesario colocar retenes junto a los rodamientos del cigüeñal?

- a) Para evitar que entre suciedad en el motor.
- b) Para evitar que se salga el aceite del cárter.
- c) Para que no entre aceite de la caja de cambios.
- d) Para mantener la hermeticidad del cárter.

8 En los motores Diesel de dos tiempos no se realiza la precompresión en el cárter. ¿Cómo se introduce el aire en el cilindro?

- a) Mediante un turbocompresor.
- b) Mediante una bomba de aire a presión.
- c) Mediante el descenso del pistón.
- d) Mediante la turbulencia del barrido.



PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor de dos tiempos
- Documentación técnica

Desmontaje de un motor de dos tiempos refrigerado por aire

OBJETIVO

Familiarizarse con la disposición de los componentes en un motor de dos tiempos.

DESARROLLO



↑ **Figura 18.31.** Motor sin las cubiertas de canalización de aire.



↑ **Figura 18.32.** Desmontaje de la culata.



↑ **Figura 18.33.** Desmontaje del cilindro.



↑ **Figura 18.34.** Lumbreras en el cilindro.



↑ **Figura 18.35.** Separación de los semicárteres.



↑ **Figura 18.36.** Extracción del cigüeñal.

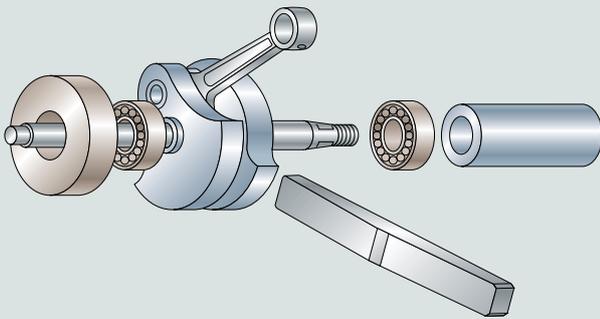
Montaje del cigüeñal en un motor de dos tiempos

OBJETIVO

Montar los rodamientos en el cigüeñal y acoplar los semicárteres.

DESARROLLO

1. Se montan los dos rodamientos al mismo tiempo utilizando una prensa. Para evitar que se deforme el cigüeñal se coloca una cuña entre los contrapesos. El montaje de los rodamientos se facilita si se dilatan previamente, para ello se sumergen en aceite a una temperatura de 100 °C
2. Antes de montar los semicárteres se dilatan los alojamientos de los rodamientos utilizando una pistola de aire caliente.

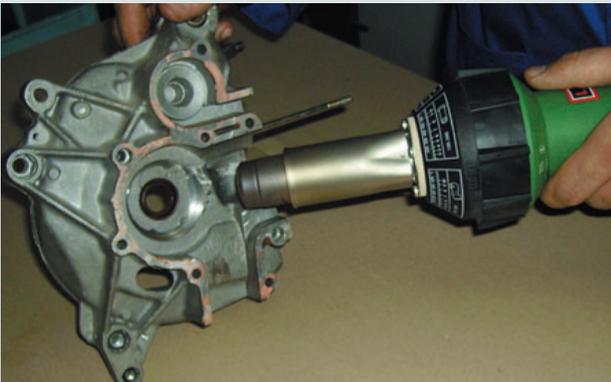


↑ Figura 18.27. Montaje de los rodamientos en el cigüeñal.

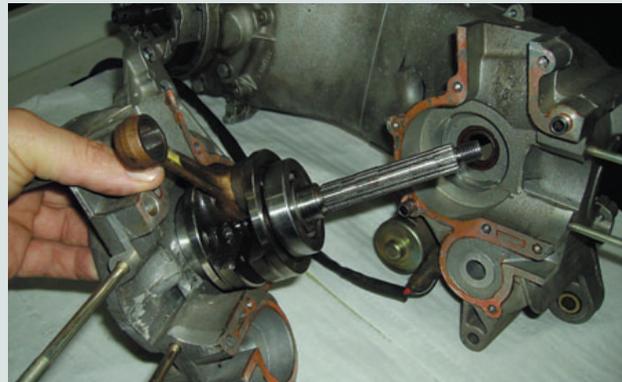


↑ Figura 18.28. Conjunto cigüeñal con rodamientos.

3. Se limpian las superficies de acoplamiento, se coloca la junta y se posiciona el cigüeñal sobre un semicárter, seguidamente se coloca el otro semicárter y se golpea con un mazo de plástico. Una vez acoplados los semicárteres se colocan los tornillos y se aprietan a su par.
4. A continuación se montan los retenes en ambos lados del cigüeñal para hacer estanco el interior del cárter.
5. Se montan los demás elementos en orden inverso al desmontaje.



↑ Figura 18.29. Calentamiento con pistola de aire.



↑ Figura 18.30. Ensamblado de los semicárteres.

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor de dos tiempos
- Documentación técnica



MUNDO TÉCNICO

Motor de 2 tiempos. Admisión

La **fase de admisión** debe empezar cuando la presión del cárter sea inferior a la atmosférica: esto es lo que determina la cota de apertura de un motor con válvula de disco. Se debe cerrar la lumbrera cuando la presión del cárter supere la atmosférica, y esto ya depende mucho más de la velocidad de giro del motor. El punto débil de las máquinas con admisión controlada por la falda del pistón es que las cotas de apertura y cierre de la admisión controlada tienen que ser simétricas respecto al p.m.s. (punto muerto superior). Los motores con admisión por válvula giratoria pueden abrir y cerrar la admisión cuando quiera el diseñador, y es fácil modificarlo.

Los motores con admisión por láminas (en los que una válvula con láminas flexibles impide el retroceso de gases por la entrada de los mismos) permiten, en la práctica, un reglaje variable en toda la gama de velocidades del motor.

Se diseñaron en primer momento para evitar el retroceso de gases, y las láminas permitieron un funcionamiento a regímenes elevados sin grandes pérdidas a velocidades de giro menores. Esto funcionaba bien en los motores de los karts y en motos de trial en las que era importante disponer de una flexibilidad a regímenes menores y una buena banda de potencias. No servía de mucho a velocidades de giro elevadas, porque el bloque de láminas suponía una restricción física. Los investigadores mejoraron todo esto, sobre todo los de **Yamaha**, hasta que por último los motores con admisión por láminas llegaron a tener la misma eficiencia a regímenes altos y seguían disponiendo de bandas de potencia anchas.

En algunos, la lumbrera de admisión permanece abierta en los 360 grados de giro, y la válvula de láminas controla completamente la admisión. Dado que la válvula solo se abre cuando la presión del cárter sube por encima de la atmosférica, y dado además que es más fácil construir un motor de admisión por láminas que uno por válvula de disco, no es difícil comprender por qué se han hecho tan populares las válvulas de láminas.

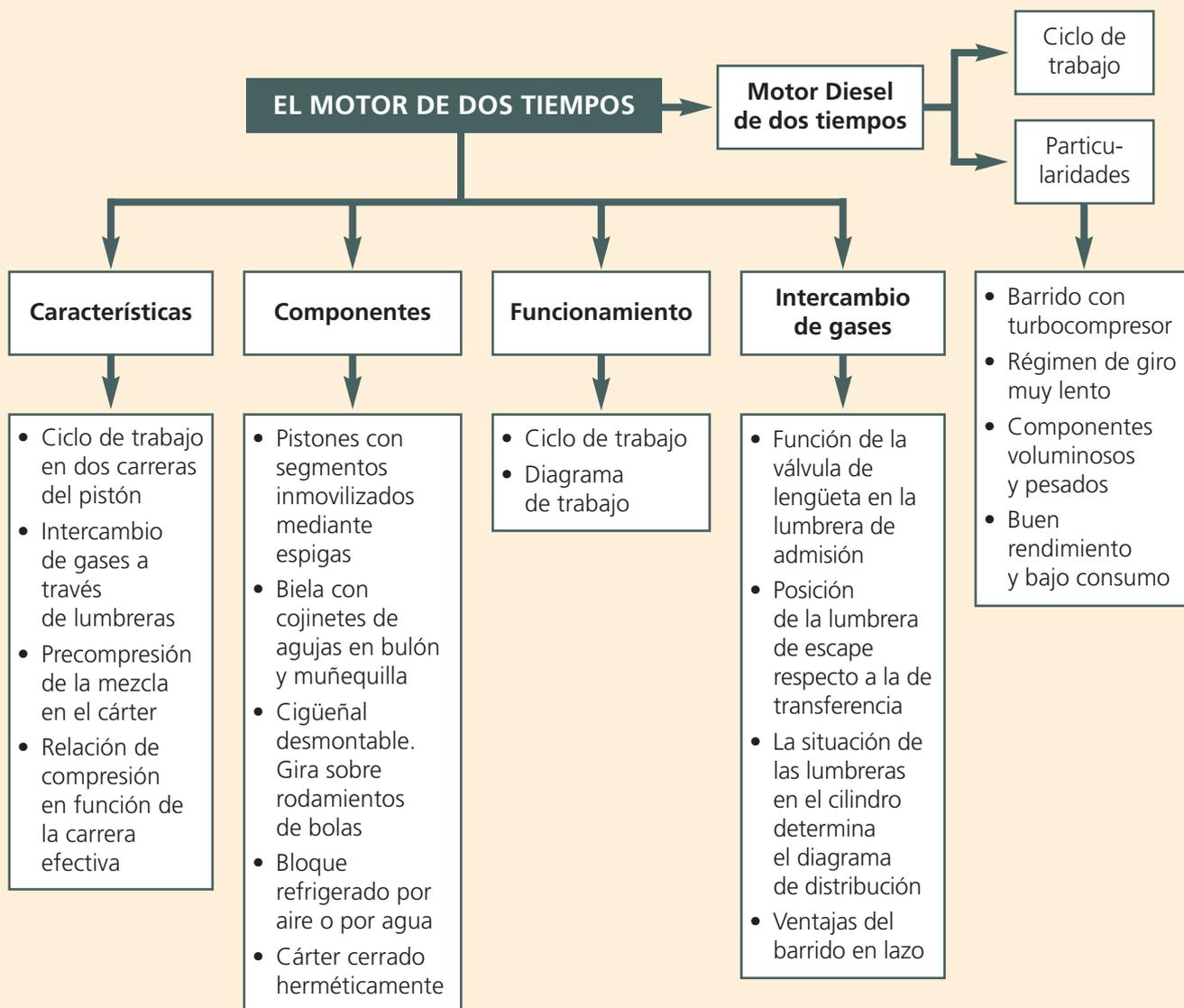
El aumento del tiempo de apertura de la admisión, y el mayor aerodinamismo de la lumbrera, permitirán un mejor flujo de los gases y un flujo más sostenido a regímenes mayores.

La labor de **Yamaha** con las válvulas de láminas permitió mejores resultados a regímenes elevados, así como más revoluciones de las que permitían las láminas en una primera época. Consiguieron esto a base de establecer las dimensiones y las frecuencias más adecuadas de los pétalos para los regímenes punta deseados para el motor. También aprovecharon la cámara que queda detrás de la válvula de láminas para mejorar el barrido de gases, conectándola con una lumbrera de carga adicional («séptima»). Esto proporcionaba un flujo adicional de gases al cilindro, y también aliviaba la presión sobre la parte trasera de la válvula, lo que hacía que se abriera más rápidamente al empezar el ciclo siguiente.

Por último, la longitud del paso o conducto de admisión puede ser importante, ya que está sujeto a ondas de presión al abrirse la lumbrera, o al empezar a llevarse la válvula de láminas, acelerará el proceso de la admisión. Ya que las ondas de presión se desplazan a la velocidad del sonido por los gases, el momento de su llegada dependerá de dicha velocidad y de la longitud del conducto.

Adrian Baer
Espaciomotos.com

EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad.

- http://www.es.total.com/es/eself.nsf/V5_OPM/BD4489D70FDE8340C1256EE500472AED?OpenDocument
- http://www.k-wz.de/vmotor/z_omoters.html
- <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/>
- <http://www.solovespa.com>
- <http://personales.ya.com/garisoler/vespinos/tecnica.htm>

19

El motor rotativo Wankel

vamos a conocer...

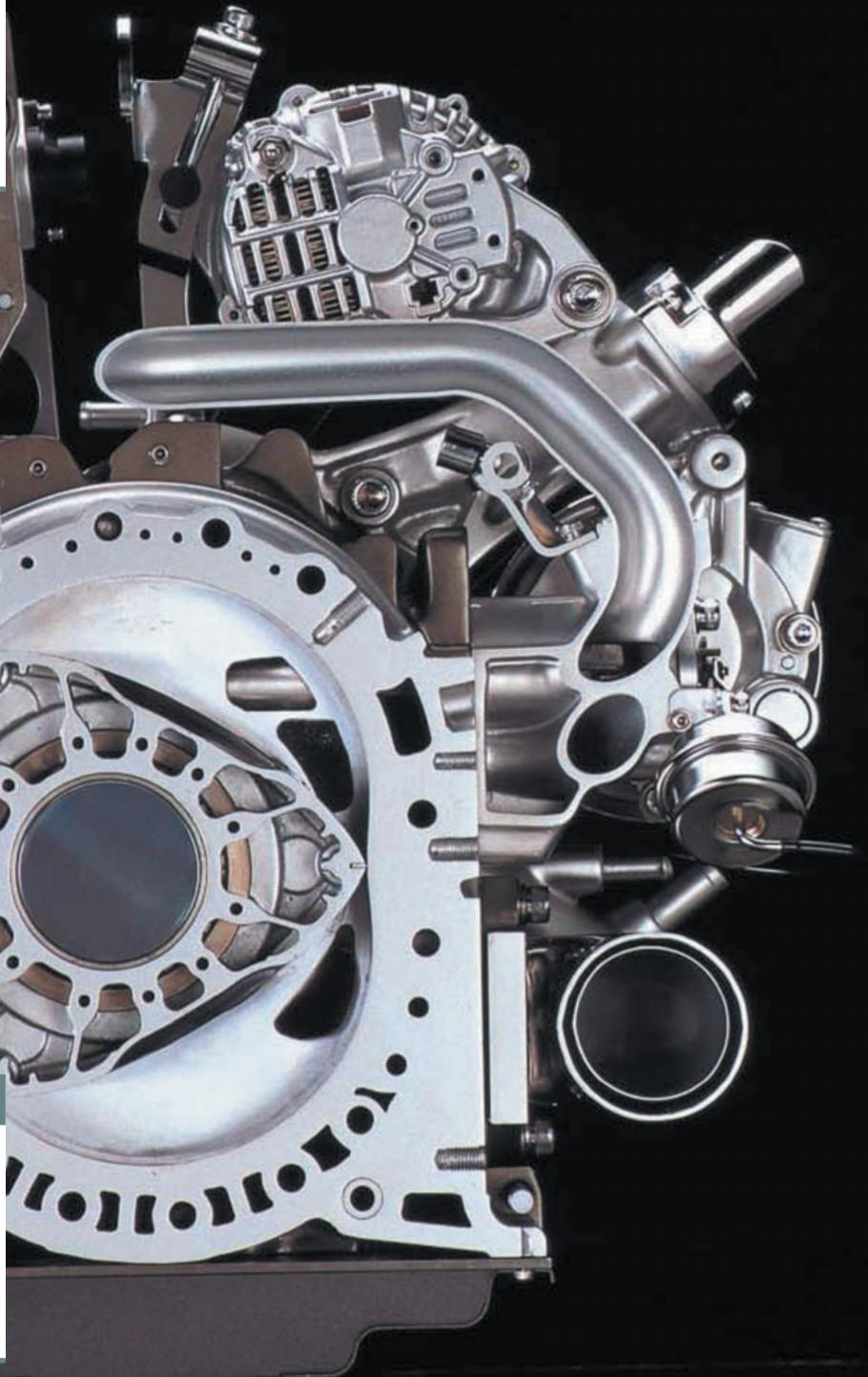
1. Características
2. Constitución
3. Funcionamiento del motor rotativo

PRÁCTICA PROFESIONAL

Características del motor rotativo Wankel

MUNDO TÉCNICO

Motor Wankel



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las principales características del motor rotativo.
- Analizarás las características constructivas de los componentes del motor rotativo.
- Conocerás el ciclo de funcionamiento del motor rotativo.

situación de partida

Diego ha decidido comprarse un coche deportivo. Uno de los posibles modelos es el Mazda RX-8, le gusta su línea deportiva pero quiere saber más detalles sobre su tecnología. En el concesionario la explican que el RX-8 es el único automóvil que se comercializa actualmente con motor rotativo, este motor tiene muy pocas vibraciones ya que el movimiento de rotación se genera directamente sobre su pistón triangular, que gira dentro de una carcasa sin que exista ningún movimiento alternativo, pudiendo alcanzar un alto número de revoluciones.

Funciona siguiendo el ciclo de cuatro tiempos, por lo que se obtiene un impulso cada 120° , es decir, tres explosiones en cada vuelta del rotor.

Carece de válvulas y de sistema de distribución ya que el intercambio de gases se realiza por lumbreras que son controladas por los vértices del rotor.

También le informan de que Mazda está probando un motor rotativo de hidrógeno que pronto se pondrá a la venta.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Por qué este motor se denomina rotativo?
2. ¿Qué ciclo de trabajo utiliza este motor para su funcionamiento?
3. ¿Cuántos ciclos se desarrollan en una vuelta del rotor?
4. ¿Qué sistema se utiliza para el intercambio de gases en el motor rotativo?



1. Características

El motor Wankel de pistón rotativo pertenece al grupo de motores térmicos de combustión interna y funciona según el ciclo de cuatro tiempos.

Este motor se caracteriza porque el movimiento de rotación se obtiene directamente en el pistón o rotor, que tiene forma triangular y gira impulsado por la combustión que se produce sucesivamente en sus tres cámaras radiales.

En una vuelta del rotor tienen lugar los procesos de admisión, compresión, expansión y escape, en cada una de las tres caras del rotor. Su funcionamiento es similar al de un motor de cuatro tiempos con tres cilindros, con la diferencia de que en el rotativo se obtienen tres explosiones en cada vuelta.

En el motor de pistón alternativo se obtiene un movimiento rectilíneo de vaivén que luego ha de ser transformado en rotación mediante el mecanismo de biela y cigüeñal. El movimiento alternativo del pistón genera fuerzas que son la causa de desgastes irregulares y desequilibrios que producen vibraciones en el motor. En este aspecto el motor rotativo tiene claras ventajas, puesto que funciona con mayor suavidad, pudiéndose alcanzar un elevado número de revoluciones.

Los procesos de admisión y escape se realizan mediante lumbreras que son controladas por el giro del rotor, se prescinde por tanto de sistema de distribución. El motor rotativo es de gran sencillez mecánica, con un reducido número de piezas en movimiento.

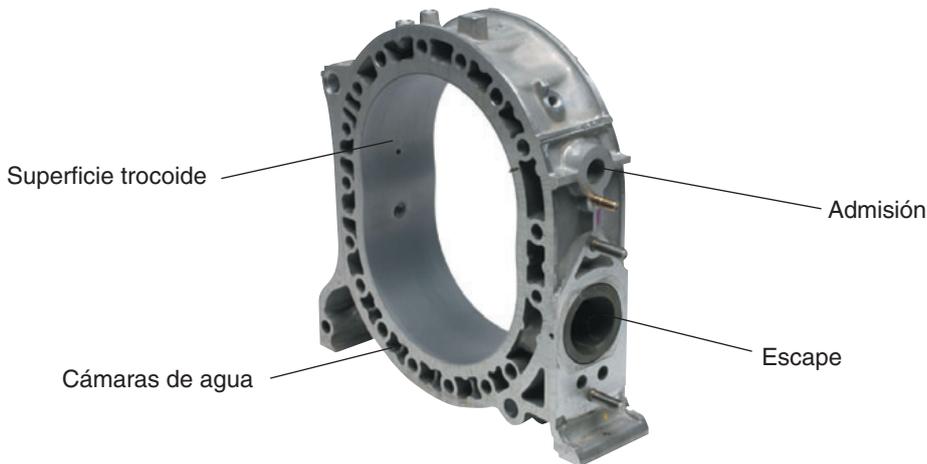
2. Constitución

El motor rotativo tiene una constitución sencilla como puede verse en la figura 19.1.



→ **Figura 19.1.** Motor rotativo Wankel.

El **bloque** o **carcasa** del motor (figura 19.2) se fabrica en aleación ligera. En su interior se encuentra la camisa, que constituye la superficie de rozamiento con el rotor. Para mejorar su resistencia al desgaste se superpone una capa de material endurecido al cromomolibdeno con un recubrimiento de grafito que aporta cualidades autolubricantes. La forma interior de la camisa recibe el nombre de curva epitrocoide; esta figura permite que el rotor pueda girar en su interior y mantener sus tres vértices en permanente contacto con la camisa.



← **Figura 19.2.** Carcasa con forma interior epitrocoide.

Sobre la carcasa, y en sentido radial, van ubicadas las **lumbreras de admisión y escape**, a través de las cuales se realiza el intercambio de gases, en algunos casos la lumbrera de admisión se dispone lateralmente.

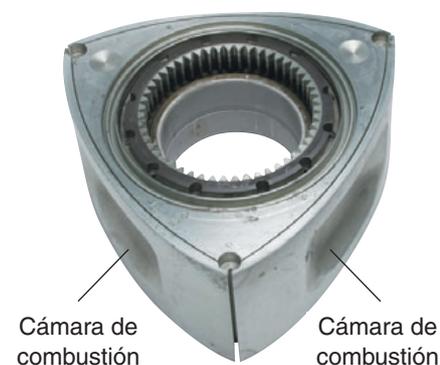
Las bujías se sitúan en el lado opuesto a las lumbreras. En la periferia se practican las cámaras para el líquido de refrigeración. El bloque queda cerrado por dos **piezas laterales**, atornilladas a la carcasa con interposición de una junta.

El **rotor** tiene forma de prisma triangular con sus tres lados ligeramente convexos (figura 19.3) en cada uno de los lados se practica una cámara de combustión en forma de bañera alargada. Cuenta, por tanto, con tres cámaras de combustión, cuya función es similar a la de un motor de tres cilindros independientes, ya que en cada uno de los lados se desarrollan los cuatro tiempos del ciclo de trabajo en una vuelta del rotor.

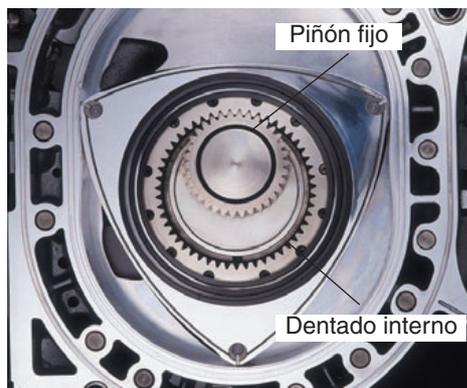
En el centro del rotor hay un orificio con un dentado interno, que en uno de sus lados engrana con un piñón que permanece fijo en un lateral de la carcasa (figura 19.4). Este engranaje sirve de apoyo al rotor para mantener su giro excéntrico dentro de la camisa epitrocoide.

caso práctico inicial

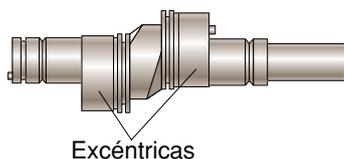
El movimiento rotativo se genera directamente en el rotor.



↑ **Figura 19.3.** Cámara de combustión en el rotor.



↑ **Figura 19.4.** Conjunto rotor y carcasa.



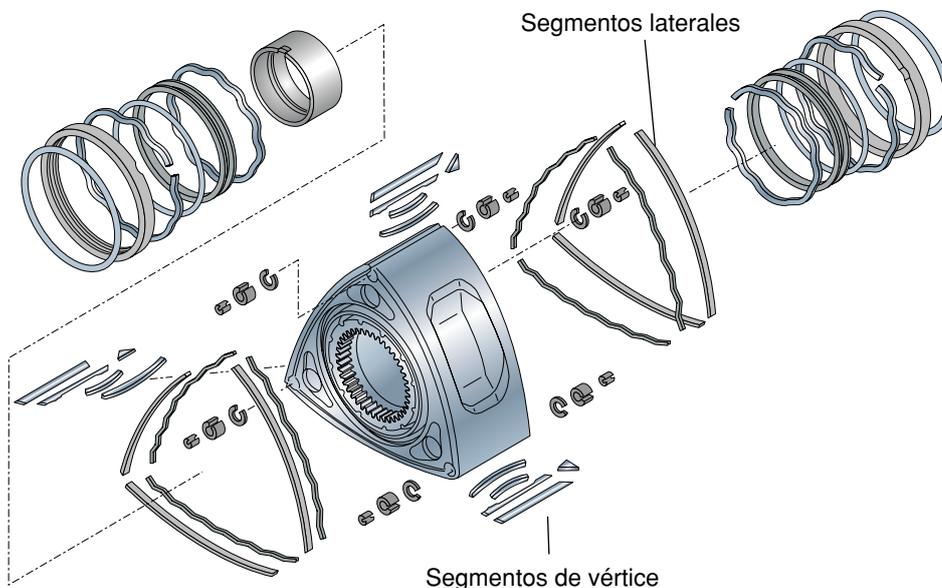
↑ **Figura 19.5.** Árbol motriz para doble rotor.

En el interior del orificio se sitúa el **árbol motriz** (figura 19.5). Apoyado en sus extremos sobre cojinetes en las piezas laterales. Fijado a él se sitúan las **excéntricas** que encajan en los orificios de los rotores.

La transmisión de fuerzas entre el rotor y el árbol motriz se realiza a través de la excéntrica, sobre la que empuja el rotor al girar, de esta forma el árbol de excéntricas actúa de la misma manera que el cigüeñal en el motor de pistón alternativo.

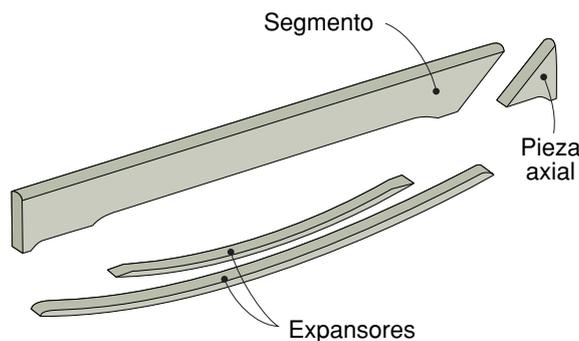
Generalmente se construyen motores de dos o tres rotores, con cilindradas de 600 a 700 cm³ por cada rotor.

La estanqueidad de las tres cámaras durante el giro del rotor se consigue mediante los **segmentos** (figura 19.6).



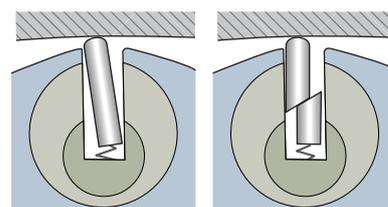
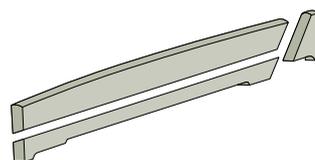
↑ **Figura 19.6.** Elementos de estanqueidad del rotor.

Los vértices del rotor van ranurados para alojar a los segmentos (figura 19.7). En las esquinas se montan unos bulones que permiten un pequeño giro para adaptarse a las paredes de la camisa con el ángulo más adecuado. En un extremo del segmento se dispone una pieza axial, que se acuña contra el lateral y ajusta el segmento en todo momento. El ajuste radial mejora con los segmentos de tres piezas (figura 19.8).



↑ **Figura 19.7.** Segmento de estanqueidad de dos piezas.

Posición del segmento durante el giro



Segmentos de dos piezas

Segmentos de tres piezas

↑ **Figura 19.8.** Segmento de tres piezas.

También es necesario estanqueizar los laterales del rotor; para ello, se instalan tres regletas en cada uno de sus lados, alojadas en sus correspondientes ranuras y provistas de muelles expansores que aseguran el contacto con las paredes laterales de la carcasa.

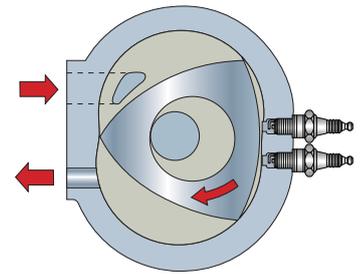
Las **cámaras de combustión** están formadas por un pequeño vaciado en el centro de cada uno de los lados del rotor. El volumen que ocupan es el que se obtiene cuando el rotor se sitúa en posición de máxima compresión (figura 19.9). Estas cámaras presentan una gran superficie respecto a su volumen, y el frente de llama tiene largos recorridos durante la inflamación de los gases. Para lograr una combustión más completa de la mezcla comprimida se emplean habitualmente dos bujías separadas entre sí de 15° a 20° .

Los **sistemas de refrigeración y engrase** son similares a los que montan los motores de pistón alternativo aunque con algunas particularidades.

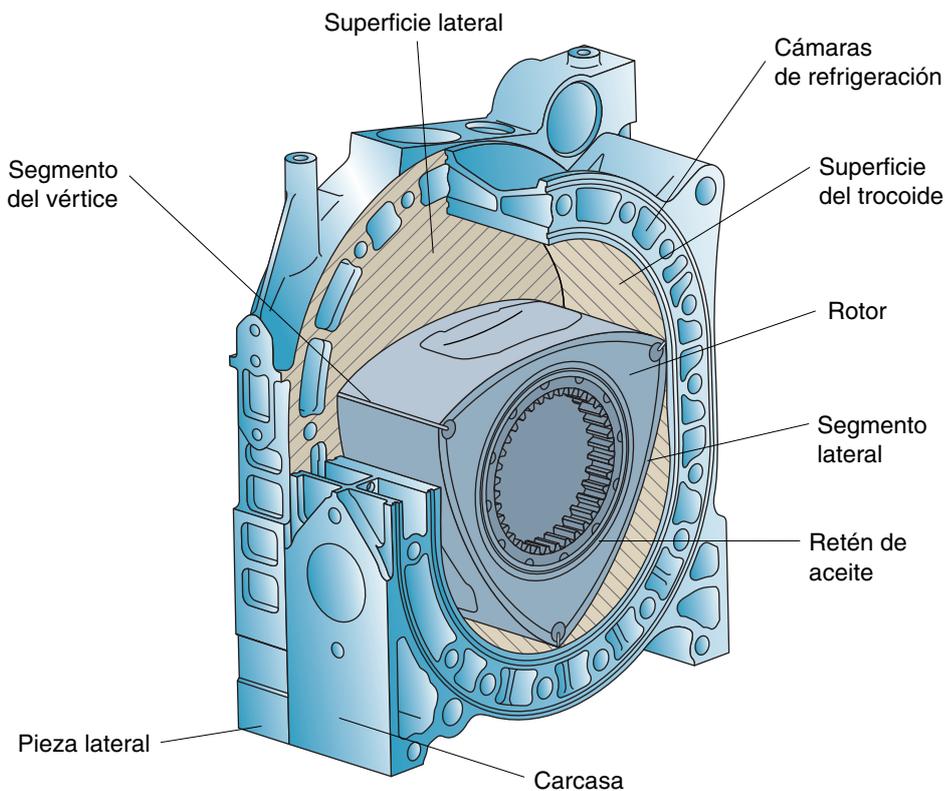
Las cámaras para el líquido de refrigeración están convenientemente distribuidas alrededor de la carcasa (figura 19.10), con un dimensionado mayor en la zona de la cámara donde se produce la combustión.

Dadas las dificultades que presenta el rotor para evacuar el calor, este tiene que ser enfriado desde el interior a través del aceite de engrase. Para evitar que el aceite se caliente en exceso, el circuito de engrase a presión va provisto de un intercambiador de calor con un termostato que regula la cantidad de aceite que pasa a enfriarse.

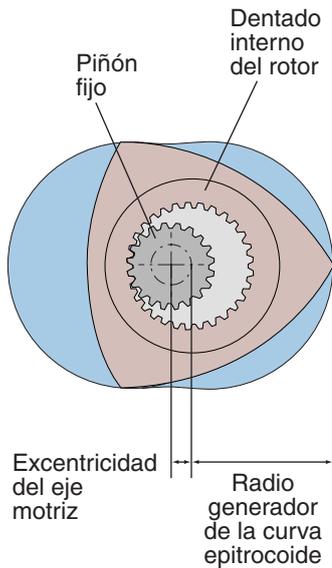
La lubricación de los segmentos se realiza añadiendo aceite al combustible mediante un dispositivo que dosifica la cantidad en función de las revoluciones y de la carga del motor. Otro sistema consiste en inyectar desde el rotor una determinada cantidad de aceite sobre las paredes de la camisa.



↑ **Figura 19.9.** Rotor en posición de máxima compresión.



↑ **Figura 19.10.** Disposición de los elementos del motor rotativo.



↑ **Figura 19.11.** Giro excéntrico del rotor en el interior del trocoide.

3. Funcionamiento del motor rotativo

El rotor de forma triangular gira sobre una excéntrica situada en el árbol motriz o eje de salida de par. Durante su rotación, los tres vértices del rotor están en permanente contacto con la superficie interna de la camisa en forma de curva epitrocoide (figura 19.11).

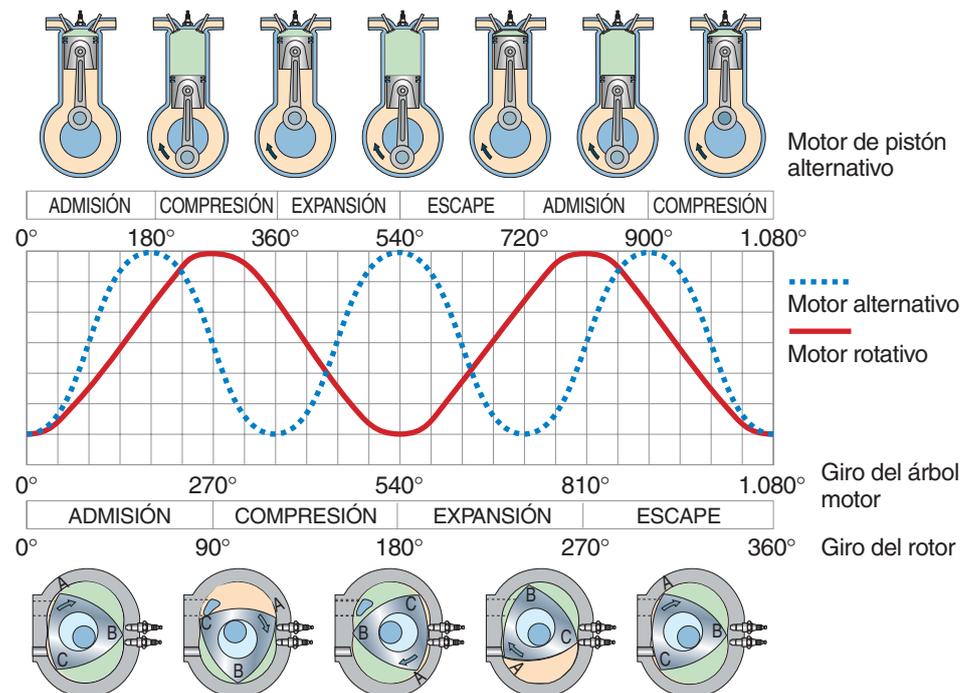
El dentado interno del rotor engrana con un piñón estacionario que describe órbitas alrededor de él. El giro del rotor es transmitido al árbol motriz a través de la excéntrica, de manera que por cada revolución del rotor el árbol motriz gira tres vueltas (el dentado interno describe tres órbitas alrededor del piñón estacionario) o, dicho de otro modo, cuando el rotor avanza 120° , el árbol motriz o eje de salida ha girado 360° . Por ejemplo, cuando el motor alcanza un régimen de 3.000 rpm, el rotor gira solamente a 1.000 rpm. Como consecuencia, el par motor es más uniforme y se dispone de más tiempo para realizar el intercambio de gases.

En cada una de las tres cámaras que se forman entre el rotor y la carcasa se llevan a cabo un ciclo de cuatro tiempos en una vuelta de rotor, es decir, tres ciclos completos por revolución. Esto significa que el rotor recibe un impulso cada 120° (360° en el árbol motriz).

En la figura 19.12 se representa el funcionamiento de un motor rotativo comparado con el motor de pistón alternativo. En las curvas de la gráfica se puede apreciar la diferencia en grados de giro del eje de salida entre ambos motores. En el motor de pistón alternativo se realiza un ciclo completo en 720° (dos vueltas) de rotación del cigüeñal. En el motor rotativo el árbol motriz gira 1.080° (tres vueltas) para completar un ciclo en cada una de las tres cámaras, en este tiempo el rotor gira 360° (una vuelta).

caso práctico inicial

Se obtienen tres impulsos por cada vuelta del rotor.



↑ **Figura 19.12.** Ciclo de funcionamiento del motor rotativo comparado con el motor alternativo.

El movimiento del rotor dentro de la carcasa hace variar el volumen de las cámaras, así se realiza de forma simultánea un proceso diferente en cada una de ellas.

En la figura 19.12 se puede apreciar que durante los primeros 90° de giro del rotor, en el lado AC se produce la admisión, en el lado AB se hace la compresión y expansión, y en el lado BC el escape. Con el fin de estudiar el ciclo de funcionamiento, seguiremos uno de los lados del rotor en el transcurso de una vuelta.

1° Admisión

La admisión de la mezcla aire-combustible comienza cuando el vértice A descubre la lumbrera de admisión. El desplazamiento del rotor aumenta progresivamente el volumen de la cámara, que va llenándose con los gases frescos, hasta que el vértice C cierra la lumbrera.

2° Compresión

La mezcla admitida queda encerrada en la cámara del lado AC, que ahora disminuye su volumen dando lugar a la compresión de los gases. Antes de llegar a la máxima compresión, con un cierto avance, se produce el encendido mediante el salto de chispa en la o las bujías, por lo que se inicia la combustión.

3° Expansión

El rápido aumento de presión, que produce la combustión, impulsa el giro del rotor mientras se realiza la expansión de los gases, la cual se prolonga hasta que el vértice A abre la lumbrera de escape.

4° Escape

Una vez descubierta la lumbrera de escape, los gases quemados son expulsados a gran velocidad debido a la presión residual de la expansión. El giro del rotor va disminuyendo el volumen de la cámara hasta completar el proceso, una vez que el vértice C rebasa la lumbrera de escape.

3.1. Volumen de las cámaras

El volumen máximo de las cámaras (figura 19.14), o volumen unitario (V_u), se calcula en función de la excentricidad (e), o distancia entre el centro del árbol motriz y el centro del rotor. El radio (R), o distancia entre el centro del rotor y su vértice, y el ancho de la cámara (b).

$$V_u = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot R \cdot e \cdot b$$

EJEMPLO

Calcula la cilindrada de un motor Wankel de dos rotores cuyas medidas son las siguientes:

Excentricidad (e) = 15 mm

Radio (R) = 105 mm

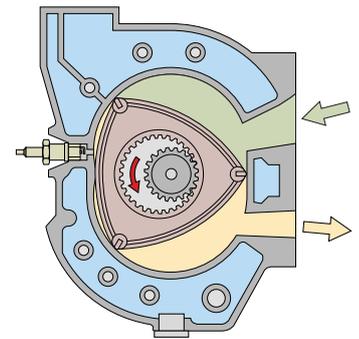
Ancho de la cámara (b) = 80 mm

Solución

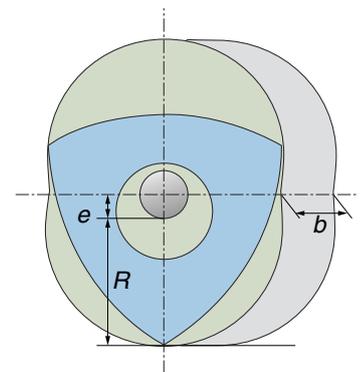
$$V_u = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 1,5 \cdot 8 = 654,7 \text{ cm}^3$$

Como dispone de dos rotores, la cilindrada total será:

$$V = 654,7 \cdot 2 = 1.309,4 \text{ cm}^3$$

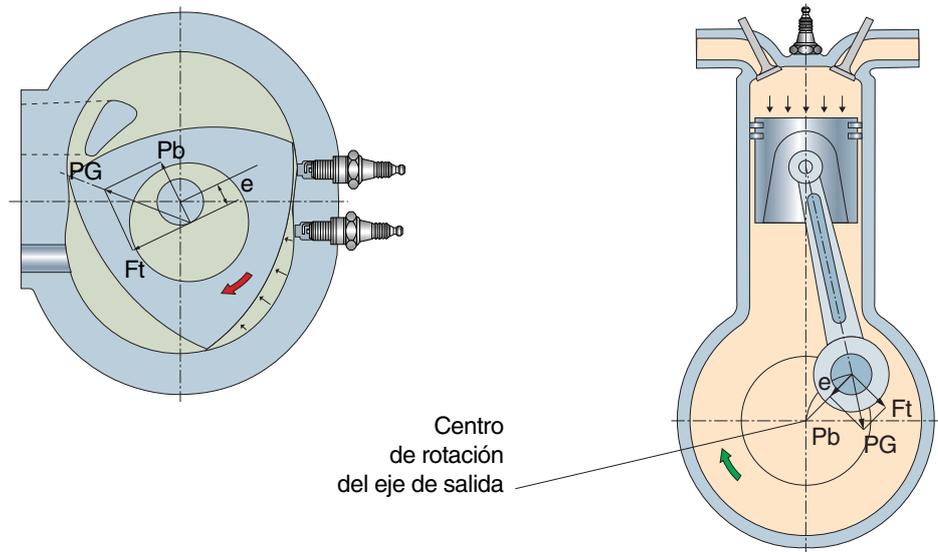


↑ Figura 19.13. Fases de admisión, compresión y escape.



e Excentricidad
 R Radio del rotor
 b Ancho de la cámara

↑ Figura 19.14. Medidas para calcular el volumen de la cámara.



→ **Figura 19.15.** El par motor en el árbol motriz y en el cigüeñal.

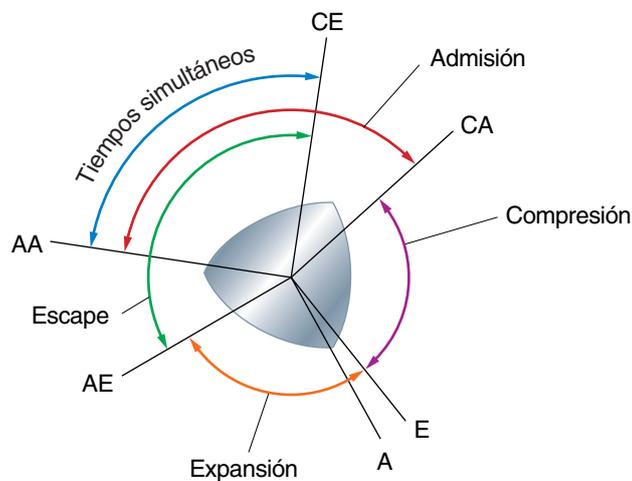
3.2. Par motor

El rotor está apoyado en la excéntrica del árbol motriz. La presión de la combustión es ejercida sobre el flanco del rotor y aplicada directamente sobre la excéntrica (figura 19.15). La fuerza de la presión (PG) se descompone en dos direcciones, una hacia el centro del árbol motriz (Pb), y otra en la dirección de giro del rotor (Ft), que supone la fuerza con que es impulsado el rotor. El par motor se determina mediante la siguiente fórmula:

$$M = Ft \cdot e$$

3.3. Diagrama de distribución

El diagrama de distribución de la figura 19.16 representa los ángulos correspondientes a cada uno de los tiempos del ciclo. Los puntos de comienzo y final de la admisión y el escape quedan determinados por la situación de las lumbreras y están marcados por uno de los vértices del rotor cuando gira una vuelta completa.



- AA Apertura de admisión
- CA Cierre de admisión
- E Avance del encendido
- AE Avance del escape
- CE Cierre del escape
- A Vértice en posición de máxima compresión

→ **Figura 19.16.** Diagrama de distribución.

Puede observarse que, durante un determinado ángulo, los procesos de admisión y escape se están realizando al mismo tiempo. Después de la de expansión, el vértice del rotor descubre la lumbrera de escape y a continuación la de admisión, por lo que permanecen ambas lumbreras abiertas hasta que el siguiente vértice cierra el escape y luego la admisión.

Cuando el rotor se sitúa en la posición de máxima compresión, el volumen de la cámara de combustión es mínimo, este punto corresponde al PMS en el motor de pistón alternativo. El encendido se produce con un avance respecto a este punto.

3.4. Ventajas e inconvenientes de los motores rotativos

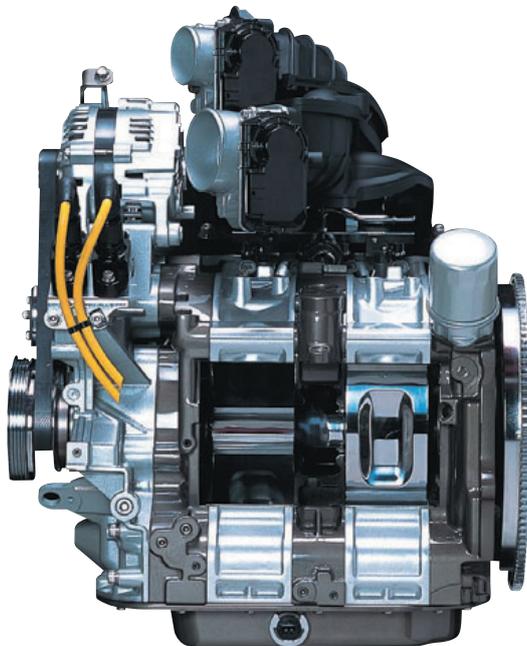
La ventaja principal de los motores rotativos es que la rotación se genera directamente en el pistón, por lo que se obtiene un par muy uniforme y un funcionamiento sin apenas vibraciones, que puede alcanzar un elevado número de revoluciones.

Utiliza muy pocas piezas en movimiento, ya que no necesita cigüeñal, bielas, pistones, válvulas ni árbol de levas, por lo que resulta de una gran simpleza mecánica y peso reducido, además, se consigue una alta potencia específica (kW/L).

Uno de los inconvenientes que ha presentado el motor rotativo es un alto consumo de combustible a cargas parciales. Esto trata de superarse disponiendo, además, de las lumbreras radiales, unas lumbreras laterales que son alimentadas mediante un sistema de admisión variable que regula la carga en diferentes fases según el número de revoluciones del motor.

Otro problema reside en las dificultades que presentan los segmentos para conseguir una buena estanqueidad en las cámaras y una larga duración. El diseño de segmentos de bajo rozamiento y el empleo de materiales de mayor resistencia al desgaste han mejorado notablemente este inconveniente.

Actualmente, se fabrican motores rotativos Wankel con un nivel de desarrollo en cuanto a prestaciones y fiabilidad comparable al motor de pistón alternativo. El empleo de este tipo de motor en automoción es en la actualidad muy reducido.



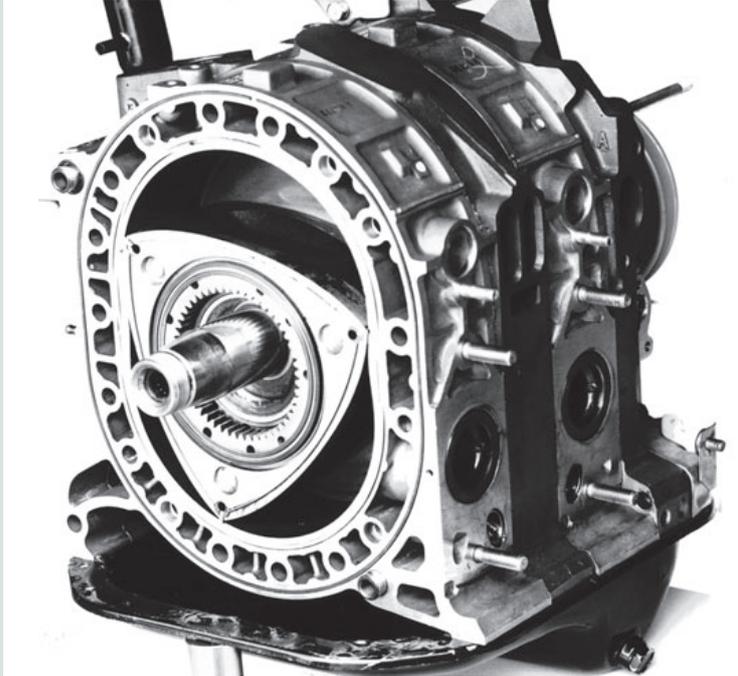
© MAZDA CORPORATION

← **Figura 19.17.** Motor Mazda Renesis montado en el modelo RX8.



ACTIVIDADES FINALES

- 1. ¿Cuáles son los elementos móviles del motor rotativo?



- 2. ¿A través de qué elemento se extrae el giro del rotor?
- 3. ¿Qué relación de transmisión existe entre el rotor y el árbol motriz?
- 4. ¿Qué procesos se realizan en una cara del rotor durante una vuelta?
- 5. ¿Cuántos segmentos son necesarios para garantizar la estanqueidad de las cámaras?
- 6. ¿Cómo se lubrican los segmentos?
- 7. ¿Por qué motivo en algunos motores rotativos se colocan dos bujías de encendido?
- 8. Explica cómo se desarrollan los cuatro tiempos del ciclo de funcionamiento.
- 9. Dibuja el diagrama de distribución del motor rotativo.
- 10. Calcula la cilindrada de un motor con tres rotores que tiene las siguientes medidas:
 - $R = 100 \text{ mm}$
 - $e = 14 \text{ mm}$
 - $b = 75 \text{ mm}$

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 En el motor rotativo, ¿cuántos ciclos de trabajo se obtienen en una vuelta del rotor?

- a) La mitad de un ciclo.
- b) Un ciclo.
- c) Dos ciclos.
- d) Tres ciclos.

2 ¿Cómo se produce el intercambio de gases en el motor rotativo?

- a) Mediante un sistema de distribución por válvulas.
- b) Mediante lumbreras controladas por el rotor.
- c) Mediante árbol de levas y balancines.
- d) Mediante un sistema electrónico.

3 ¿Cómo se denomina la forma interior de la camisa que permite un contacto permanente con los vértices del rotor?

- a) Epitrocoide.
- b) Elíptica.
- c) Ovoide.
- d) Epicicloidal.

4 ¿Dónde se aloja la excéntrica del árbol motriz?

- a) En el rodamiento de la pieza lateral.
- b) En el orificio central del rotor.
- c) En el dentado interno del rotor.
- d) En el cigüeñal.

5 Cuando el árbol motriz gira a 1.500 rpm, ¿a qué régimen gira el rotor?

- a) A 500 rpm.
- b) A 1.000 rpm.
- c) A 3.000 rpm.
- d) A 4.500 rpm.

6 ¿Con qué piñón engrana el dentado interno del rotor?

- a) Con el piñón del árbol motriz.
- b) Con el piñón del árbol de levas.
- c) Con el piñón del cigüeñal.
- d) Con el piñón fijo situado en la pieza lateral.

7 ¿A qué se denomina excentricidad del rotor?

- a) A la distancia entre los centros del árbol motriz y del rotor.
- b) La distancia que recorre el vértice del rotor en una vuelta.
- c) La distancia entre el centro del rotor y su vértice.
- d) La distancia entre dos lumbreras.

8 ¿Qué ventajas se obtienen en el motor rotativo?

- a) La rotación se genera directamente en el pistón, sin vibraciones.
- b) Par uniforme y elevado número de revoluciones.
- c) Pocas piezas en movimiento y reducido peso.
- d) Todas las respuestas anteriores son correctas.



PRÁCTICA PROFESIONAL

HERRAMIENTAS

- Equipo de herramientas de taller

MATERIAL

- Motor rotativo Wankel
- Documentación técnica

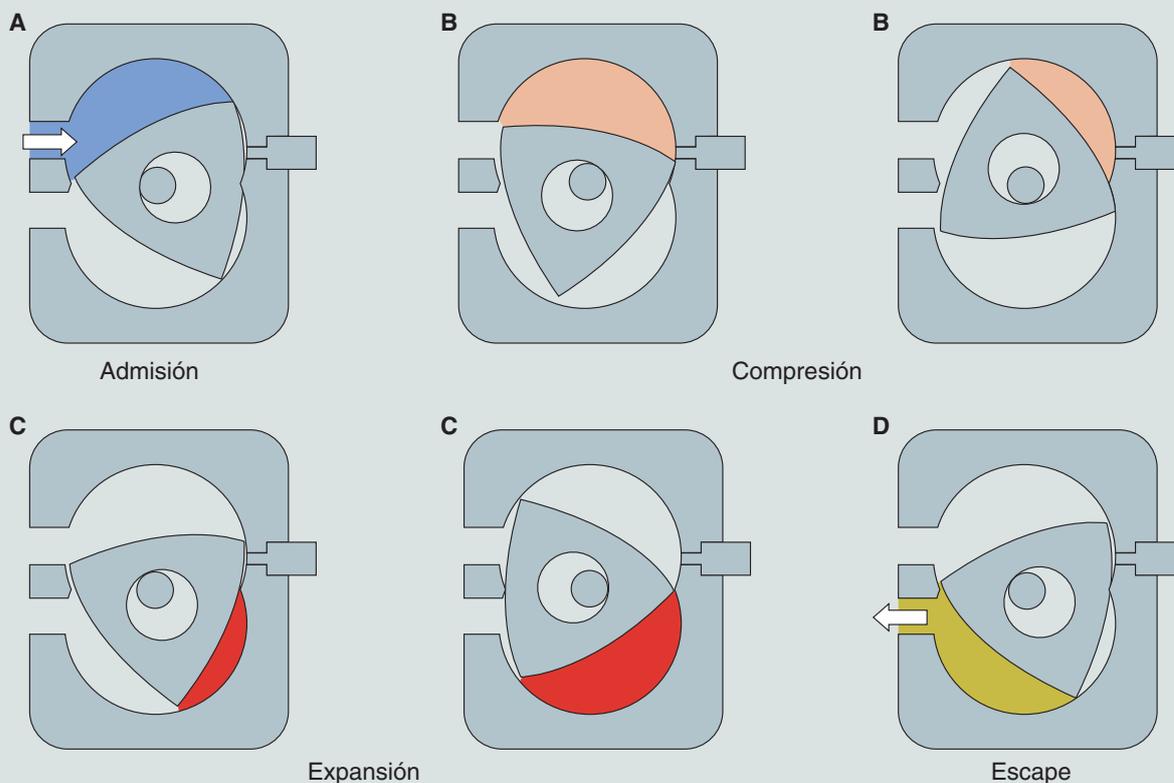
Características del motor rotativo Wankel

OBJETIVO

Conocer las características de los motores rotativos que se emplean actualmente en automoción.

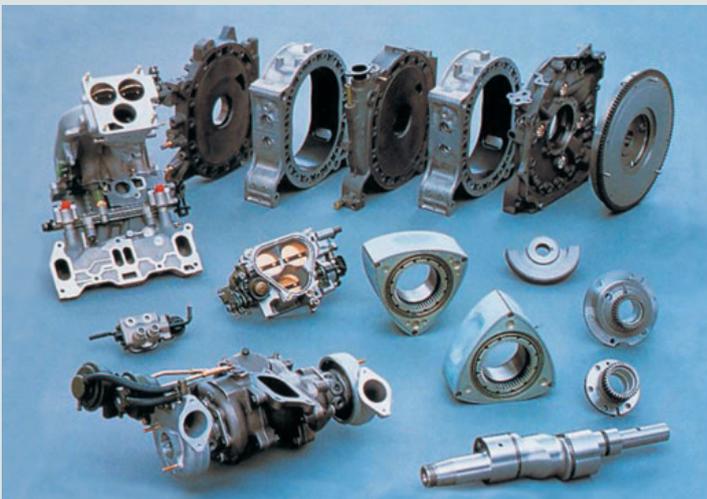
DESARROLLO

1. Se busca información sobre los modelos de automóviles de la marca Mazda que actualmente montan motor rotativo.
 - Mazda RX-8 con motor Renesis de 1.290 cm³
2. Se averiguan las características de estos motores: potencia, par motor revoluciones, cilindrada, número de rotores, etc.
 - Cilindrada total: 1.290 cm³ (2 rotores)
 - Potencia: 192 CV a 7.000 rpm
 - Par motor: 220 Nm a 5.000 rpm
 - Relación de compresión: 10 a 1
3. Dibuja esquemáticamente un motor rotativo y explica su funcionamiento.

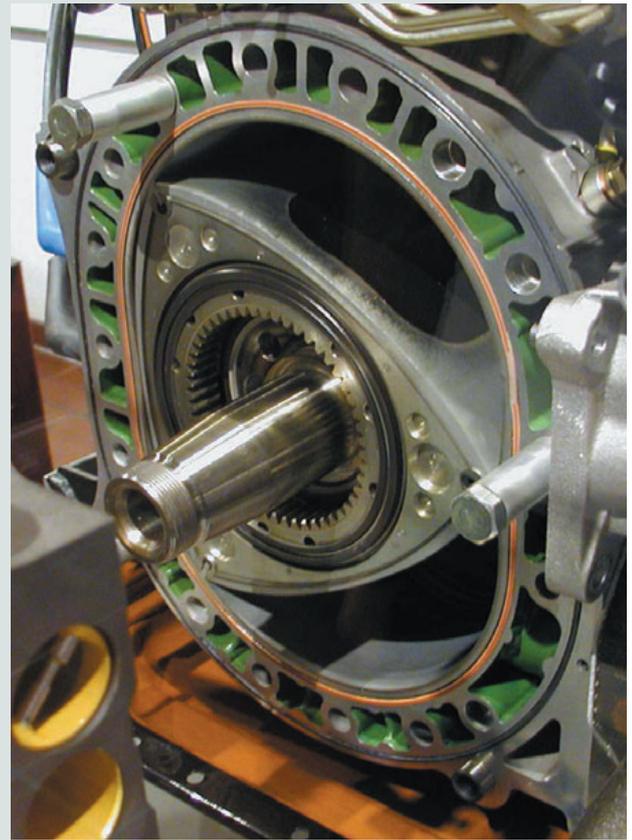


↑ Figura 19.18.

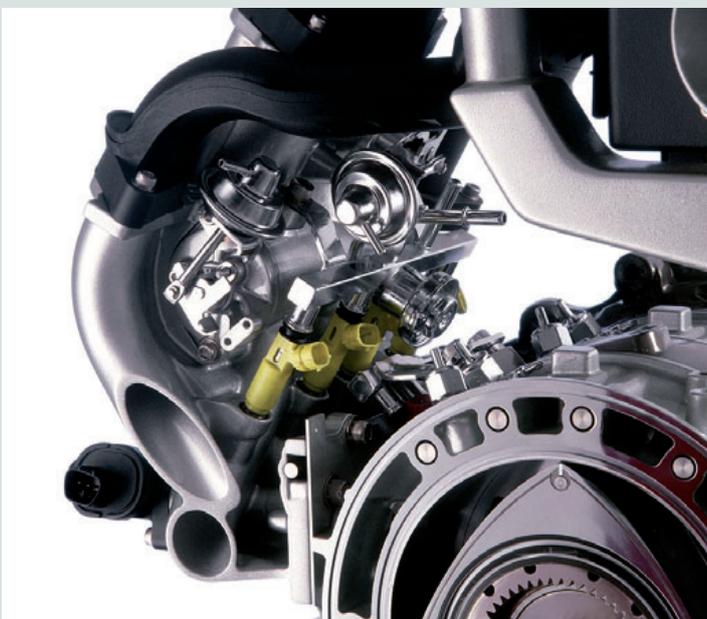
- Si se dispone en el taller de un motor rotativo, desmontarlo y estudiar cada uno de sus componentes.



↑ Figura 19.19. Despiece de un motor Wankel.



↑ Figura 19.20. Carcasa y rotor.



↑ Figura 19.21. Inyectores en el colector de admisión.



↑ Figura 19.22. Rotor y segmentos.



MUNDO TÉCNICO

Motor Wankel

Historia

En Gran Bretaña, Norton Motorcycles desarrolló un motor Wankel para motocicletas, que fue incluido en la Norton Commander; Suzuki también fabricó una moto con motor Wankel, la RE-5. DKW Hercules puso en venta una motocicleta con motor Sachs refrigerado por aire y mezcla; John Deere Inc, en EEUU, invirtió un gran esfuerzo en la investigación de motores rotativos y diseñó una versión que era capaz de usar varios tipos de combustible sin tener que cambiar el motor. El diseño fue propuesto como sistema motriz para varios vehículos de combate de la Marina estadounidense en los últimos años de la década de 1980. Ingersoll-Rand tuvo en venta un motor para usos industriales que quemaba gas y tenía una cilindrada de 41 litros y un solo rotor. Curtiss-Wright ha fabricado diversos prototipos de motor para aviación general, en donde tendría la ventaja del menor peso y mejor conducta frente a las averías. Rolls-Royce desarrolló un motor de encendido por compresión (Diesel), con etapas de compresión y combustión independientes. Graupner vendió un mini-motor para aeromodelos. La japonesa Yanmar Diesel fabricó varios motores pequeños, incluso una motosierra Wankel.

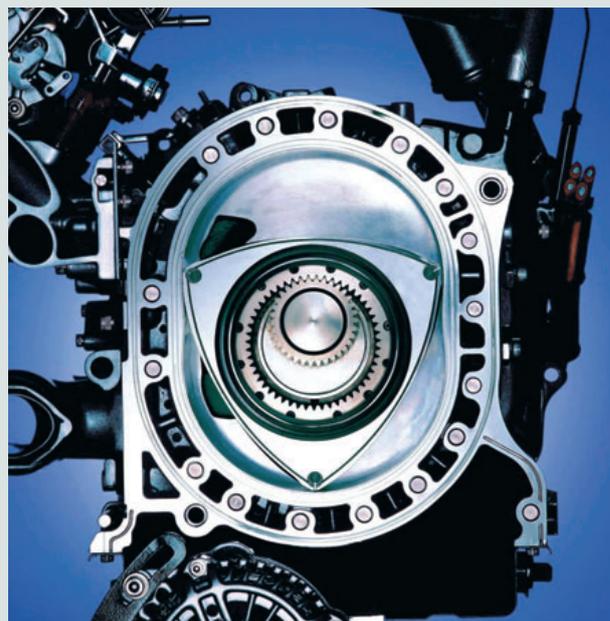
Tras un uso ocasional en automóviles, por ejemplo NSU con sus modelos Spider y Ro 80 o Citroën con el M 35 y GS Birrotor, e intentos fracasados llevados a cabo por General Motors que anunció haber resuelto el problema del consumo pero no poder con el de las emisiones en los gases de escape, o Mercedes-Benz (véase el prototipo Mercedes Benz C-111), la compañía japonesa Mazda ha sido la que ha hecho un mayor uso de motores Wankel en automóviles.

Después de muchos años de desarrollo, Mazda lanzó sus primeros coches con motores Wankel en los primeros años 1970. Aunque la mayoría de los clientes adoraban estos coches, especialmente por su suavidad, tuvieron la mala suerte de ser puestos a la venta en una época de grandes esfuerzos para reducir las emisiones y aumentar el ahorro de combustible. Mazda abandonó el Wankel

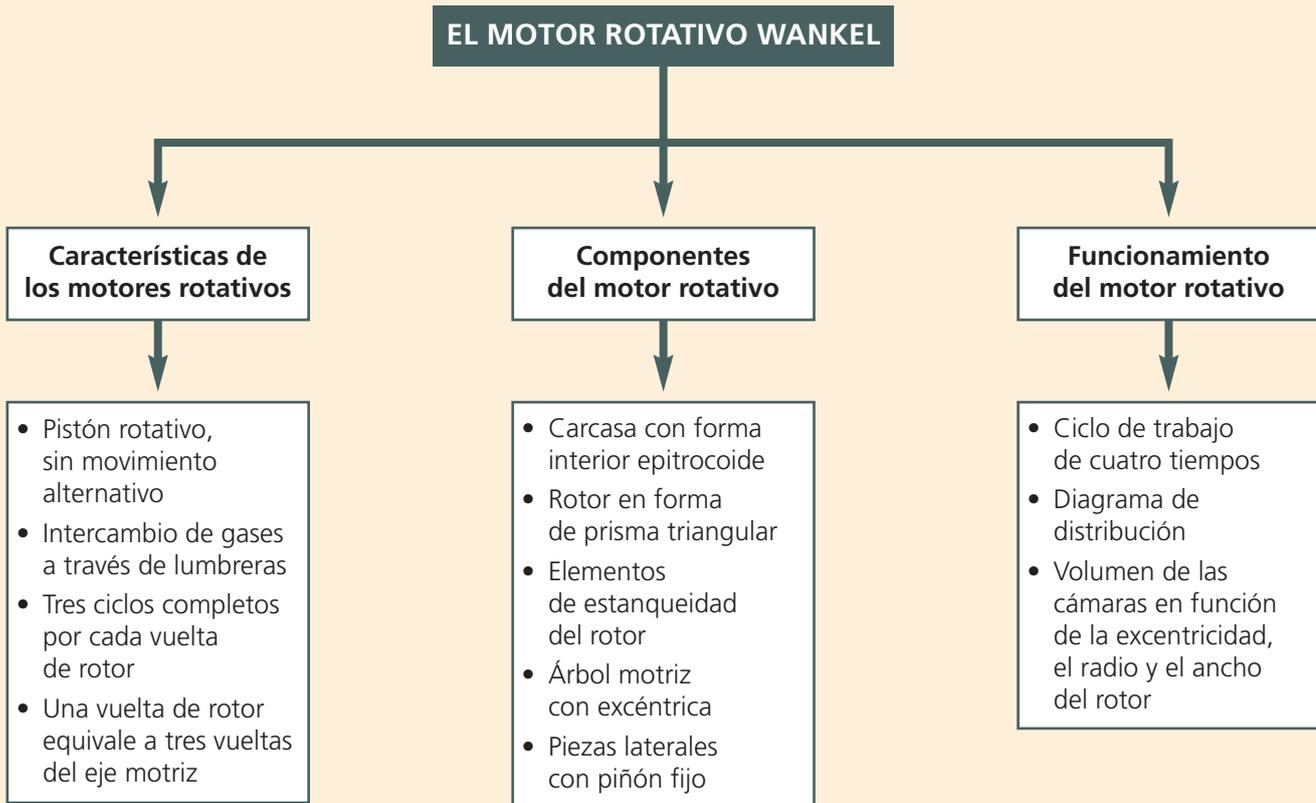
casi totalmente en el diseño de sus coches generalistas, pero continuó usando una versión biturbo de dos rotores en su mítico deportivo RX-7 hasta el final de su producción en agosto de 2002. En 2003, la marca japonesa relanzó el motor Wankel con el RX-8 que contaba con una nueva versión atmosférica birrotor, teóricamente más fiable y con menores consumos tanto de combustible como de lubricante.

En el mundo de las carreras, Mazda ha tenido un éxito sustancial con sus coches de dos y cuatro rotores, y corredores privados han cosechado también un considerable éxito con coches Mazda propulsados por motores Wankel, tanto originales como modificados. En 1991 el motor Wankel llegó a uno de los mejores momentos en competición, al conseguir Mazda la victoria en las 24 Horas de Le Mans con su prototipo 787B que montaba un motor de cuatro rotores y 2.622 cc de cilindrada.

Wikipedia



EN RESUMEN



entra en internet

1. En las siguientes direcciones puedes ampliar información sobre lo tratado en la unidad.

- <http://www.keveney.com/Wankel.html>
- <http://rotaryengineillustrated.com/>
- <http://sapolander.wordpress.com/motores/>
- <http://silverfenix7.wordpress.com/2009/03/30/motor-rotativo-rotary-engine-wankel-de-mazda/>
- <http://www.motordehidrogeno.net/que-es-el-motor-de-hidrogeno>
- <http://cocheshidrogeno.es/Mazda.html>

20

Vehículos híbridos y eléctricos

vamos a conocer...

1. Vehículos híbridos y eléctricos
2. Vehículo híbrido eléctrico
3. Vehículo de propulsión eléctrica

PRÁCTICA PROFESIONAL

Características técnicas de los nuevos vehículos híbridos y eléctricos

MUNDO TÉCNICO

La batería de iones de litio

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las características de funcionamiento de los vehículos híbridos y eléctricos.
- Conocerás los elementos y sistemas que componen los vehículos híbridos y eléctricos.
- Analizaras la función de cada componente en los vehículos híbridos y eléctricos.



situación de partida

Andrés escribe para una revista de automóviles y le han pedido que haga un reportaje sobre un vehículo híbrido, se trata del último modelo del Toyota Prius que acaba de salir al mercado.

Después de documentarse sobre el funcionamiento y las características técnicas de este vehículo, realiza un recorrido de prueba que incluye un tramo urbano y un recorrido por carretera.

El vehículo le informa mediante una pantalla de los estados de funcionamiento en cada momento, en principio comprueba que la batería está totalmente cargada.

Coloca la palanca en posición de avance y pisa suavemente el acelerador, el coche inicia la marcha solo con el motor eléctrico de manera silenciosa. Al cabo de un kilómetro la batería empieza a

estar baja y se pone en funcionamiento el motor térmico que ahora impulsa el vehículo y carga la batería. Cuando se detiene en un semáforo, el motor térmico se para, al pisar nuevamente el acelerador empieza a moverse con el motor eléctrico y después arranca el térmico.

Ya en carretera, al acelerar la batería alimenta al motor eléctrico que junto al térmico impulsan el vehículo. Cuando suelta el acelerador para después frenar comprueba en la pantalla que la corriente eléctrica fluye desde el generador a la batería.

Al terminar la prueba verifica un consumo medio de 5,5 L/100 km a una velocidad media de 75 km/h, este consumo es de los más bajos comparado con otros vehículos de similares características que no son híbridos.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué vehículos híbridos conoces que estén en el mercado europeo actualmente?
2. ¿Qué ventajas tienen en cuanto a contaminación los vehículos híbridos y eléctricos?
3. ¿Cuáles son los inconvenientes técnicos actualmente de los vehículos eléctricos?
4. ¿Cuáles son las características de las baterías de litio que se emplean actualmente en los vehículos eléctricos?
5. ¿Qué autonomía puede tener un depósito de hidrógeno en un automóvil con pila de combustible?



1. Vehículos híbridos y eléctricos

El desarrollo de tecnologías alternativas en la propulsión de los vehículos surge por la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes. El principal objetivo es el aprovechamiento más eficiente de la energía y como consecuencia la reducción del consumo de combustibles fósiles.

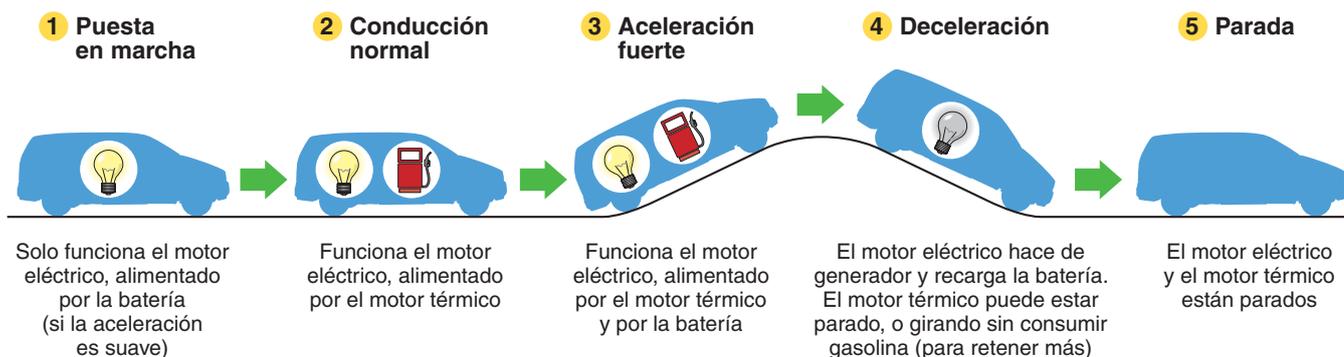
Las alternativas más viables actualmente son:

- Vehículos híbridos eléctricos.
- Vehículos de propulsión eléctrica.

2. Vehículo híbrido eléctrico

Un vehículo híbrido eléctrico combina dos sistemas de propulsión, uno de ellos es un motor eléctrico y el otro generalmente un motor térmico (gasolina o Diesel). También dispone de dos diferentes fuentes de energía, una eléctrica que proporciona un generador y se acumula en la batería, y la energía química del combustible que se almacena en el depósito.

Estas son sus principales características (figura 20.1):



↑ **Figura 20.1.** Funcionamiento del vehículo híbrido.

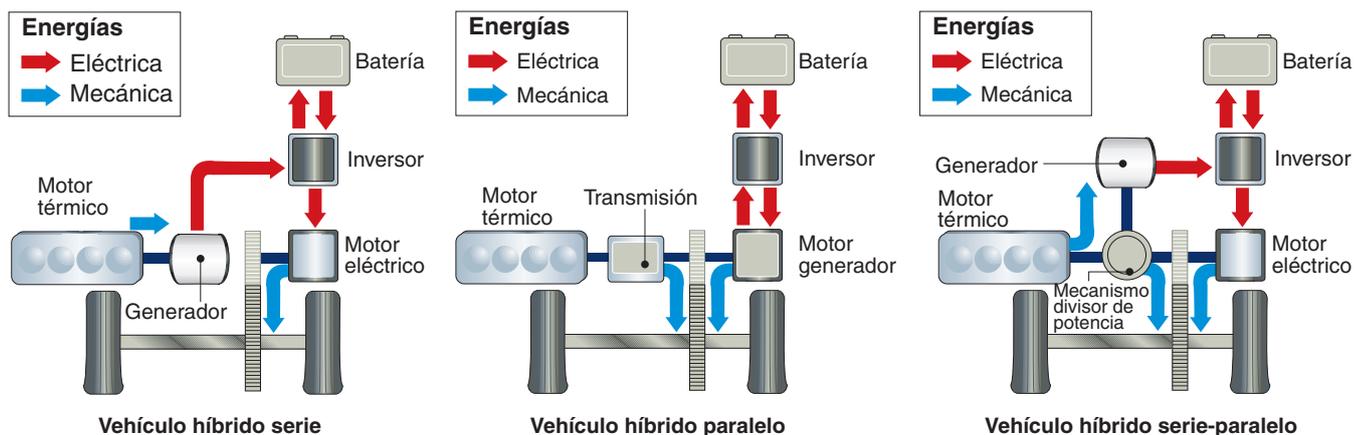
- El inicio de la marcha se hace solo con propulsión eléctrica, al alcanzar cierta velocidad (hasta los 50 km/h) el motor térmico comienza a mover el vehículo. No consume combustible en las arrancadas y estas se hacen de forma suave y silenciosa.
- En trayectos por carretera el generador recarga la batería.
- En aceleración se suma la potencia del motor eléctrico a la del motor térmico.
- En frenada y en retención la energía cinética es transformada en electricidad y almacenada en la batería.
- Con paradas frecuentes (semáforos, atascos) el motor térmico se para, cuando es preciso se pone en marcha con el motor eléctrico (sistema Stop-Start).

caso práctico inicial

El sistema Stop-Start es una característica de los vehículos híbridos.

Los vehículos híbridos optimizan el funcionamiento de ambos propulsores y consiguen disminuir el consumo hasta un 20 % en comparación con los vehículos convencionales.

2.1. Tipos de sistemas híbridos (figura 20.2)



↑ **Figura 20.2.** Disposición de los elementos en los vehículos híbridos.

Vehículo híbrido serie. En este sistema el vehículo es impulsado por un motor eléctrico. El motor térmico no está conectado directamente a la transmisión, sino que mueve un generador y este suministra corriente al motor eléctrico.

Vehículo híbrido paralelo. Ambos motores, eléctrico y térmico, están conectados a la transmisión mecánica. Funcionan en paralelo, el motor térmico es la parte principal y el motor eléctrico funciona en casos de alta sollicitación.

Vehículo híbrido serie-paralelo. Semejante al anterior, pero puede funcionar mediante uno solo de los motores o en combinación de ambos. Este sistema es el más utilizado debido a su mayor eficacia.

2.2. Componentes de los vehículos híbridos

El motor térmico

En comparación con el vehículo convencional, el motor térmico de un vehículo híbrido es de menor cilindrada. En este motor se busca un alto par a regímenes medios más que una elevada potencia.

El motor es más eficiente ya que se dimensiona para desarrollar una potencia promedio, cuando es necesario un aumento de potencia (aceleración) se recurre al motor eléctrico. Esto permite que el motor térmico funcione siempre muy cerca de su punto de máximo rendimiento. Se emplean motores de gasolina o Diesel y en algunos casos también pueden funcionar con gas o biocombustibles.

En algunos vehículos híbridos se utilizan motores de gasolina de ciclo Atkinson, este motor presenta ligeras diferencias en el ciclo termodinámico respecto al motor Otto. Se retrasa el cierre de las válvulas de admisión, de esta forma la duración efectiva del tiempo de compresión se acorta en relación al de expansión que se hace mayor.

Con una relación de compresión efectiva de 9 / 1 se obtiene una relación de expansión de 13 / 1. El ciclo Atkinson favorece el rendimiento del motor a medio régimen.



↑ **Figura 20.3.** Motor de gasolina con motor-generator eléctrico.

El motor eléctrico

Se emplean motores de corriente alterna, generalmente son de tipo síncronos trifásicos con imanes permanentes (figura 20.3). Pueden trabajar también como generadores, son compactos, de bajo peso y alto rendimiento. Un vehículo puede equipar más de un motor eléctrico, están conectados a la transmisión y en algunos casos van integrados en las ruedas.

El generador

Es un generador de corriente alterna, que debe ser convertida a corriente continua para cargar las baterías. Puede instalarse como elemento independiente aunque generalmente se integran las funciones de motor y de generador en un mismo dispositivo.

Funciones de un motor-generator:

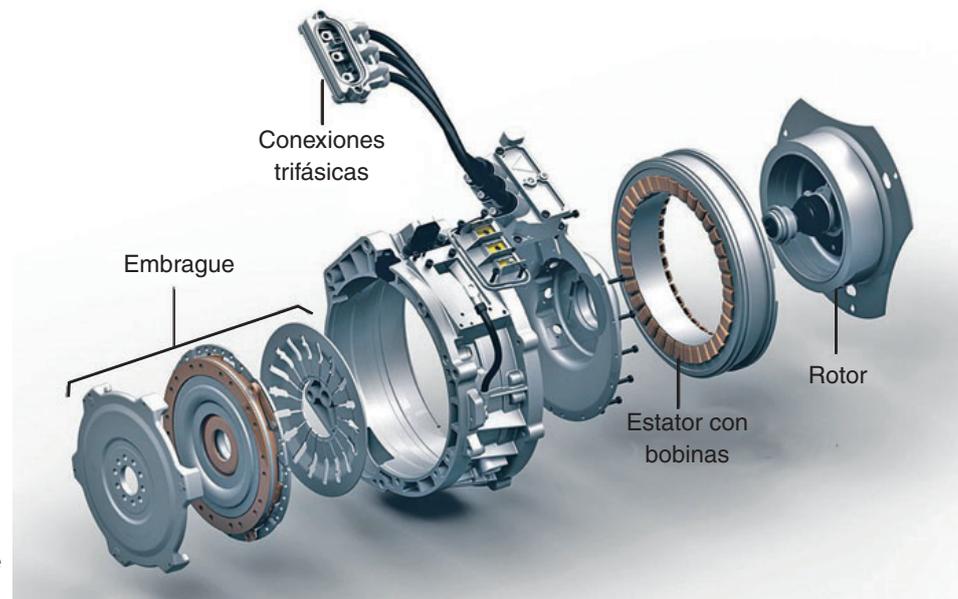
- Actúa como propulsor del vehículo solo o junto con el motor térmico.
- Opera como un generador, permitiendo que el exceso de energía (en retención o durante el frenado) se utilice para recargar el módulo de batería.
- Se utiliza para el arranque del motor de combustión interna de forma rápida y silenciosa. Esto permite que el motor térmico se desactive de forma automática y se reinicie cuando sea necesario (función Stop-Start).

Constitución y funcionamiento de un motor-generator

El motor-generator está compuesto por un estator en el que se disponen tres grupos de bobinas inductoras alrededor de su perímetro (figura 20.4). En el rotor se ubican los imanes permanentes, sin conexiones eléctricas, así las bobinas no están sometidas a fuerzas centrífugas.

caso práctico inicial

El vehículo inicia la marcha con el motor eléctrico.



→ **Figura 20.4.** Partes de un motor-generator.

El rotor está unido a la transmisión, de modo que es movido por el motor térmico o bien impulsado por la inercia del vehículo. Cuando gira el rotor el campo magnético de sus imanes induce una corriente eléctrica en las bobinas del estator, de este modo opera como generador eléctrico.

Si las bobinas del estator reciben corriente de la batería se genera una fuerza electromotriz en el rotor que se utiliza para impulsar el vehículo, en este caso se comporta como motor eléctrico.

Al tratarse de motores de corriente alterna trifásica es necesario un dispositivo denominado inversor/convertidor entre la batería y el motor-generator.

Inversor / convertidor

El inversor (figura 20.5) realiza las siguientes funciones:

- Transforma la corriente continua de la batería en corriente alterna trifásica para alimentar el motor eléctrico.
- Varía el valor de la tensión y la frecuencia de la corriente alterna para adaptar el par y las revoluciones del motor eléctrico.
- Cambia la corriente alterna del generador en corriente continua para cargar la batería de alto voltaje.
- Recarga la batería de 12 voltios que alimenta al circuito eléctrico convencional del vehículo.

Batería de alto voltaje

Para almacenar la energía eléctrica se emplean baterías de alta capacidad y alto voltaje (entre 100 y 300 voltios).

Las baterías de **níquel-hidruro metálico (Ni-MH)** utilizan un cátodo (+) de una aleación de hidruro metálico y un ánodo (-) de hidróxido de níquel. Cada una de sus celdas proporciona una tensión de 1,2.V. Así, para conseguir una batería de 288.V se necesitan 240 celdas. La densidad energética de este tipo de batería es de 80 Wh/kg y tienen una duración de más de 1.000 recargas.

Las baterías de **iones de litio (Li-ion)** se han desarrollado más recientemente (figura 20.6) y presentan claras ventajas respecto a las baterías Ni-MH. Poseen una alta densidad de energía (120 Wh/kg), es decir, pueden acumular mayor cantidad de electricidad con menor peso, tienen mayor duración, sufren una menor auto-descarga, y no tienen efecto memoria, es decir, se pueden hacer cargas parciales sin que disminuya su capacidad. Están equipadas con sensores que detectan su estado para evitar sobrecargas o descargas completas que dañarían la batería.



↑ Figura 20.5. Inversor convertidor.



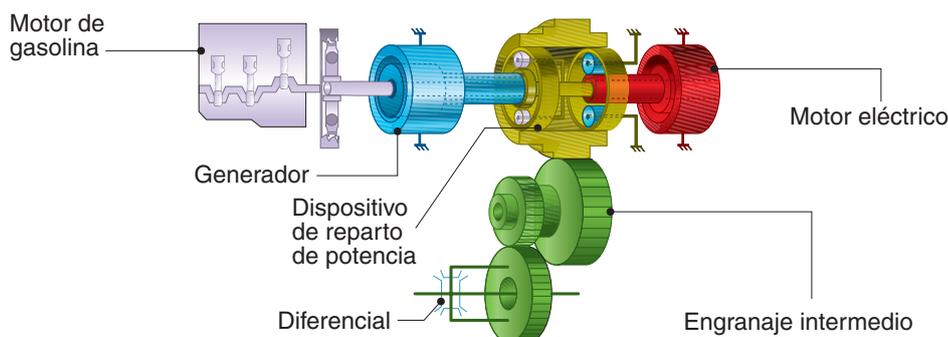
↑ Figura 20.6. Batería de iones de litio.

caso práctico inicial

La batería almacena la energía que se recupera en frenadas y en retención.

Divisor de potencia

El sistema híbrido en paralelo está equipado con un divisor de potencia, que en función de las necesidades de utilización distribuye la energía del motor térmico entre la tracción y el generador (figura 20.7). Utiliza para ello un engranaje planetario que funciona también como una transmisión variable continua.



← Figura 20.7. Transmisión con sistema divisor de potencia.

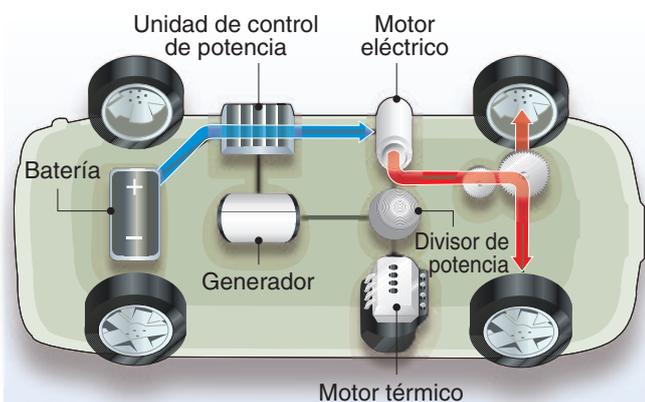


2.3. Modos de funcionamiento

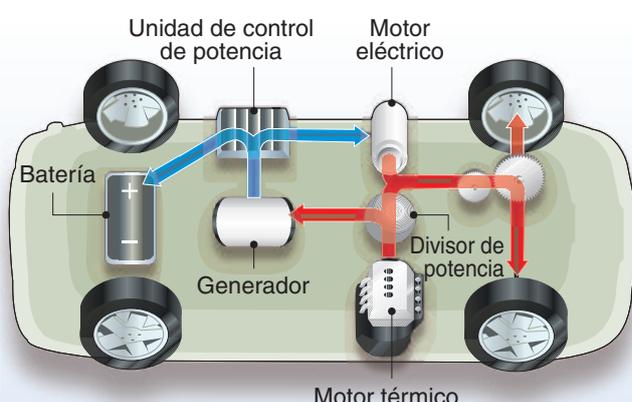
El sistema de gestión de energía de un vehículo híbrido controla entre otras las siguientes funciones:

- Activa el modo de funcionamiento solo eléctrico.
- Determina cuándo se realiza la asistencia del motor eléctrico al motor térmico.
- Gestiona la corriente del generador para mantener la batería de alto voltaje en buen estado de carga.
- Para el motor térmico cuando el vehículo se detiene y reinicia la marcha solo con el motor eléctrico.

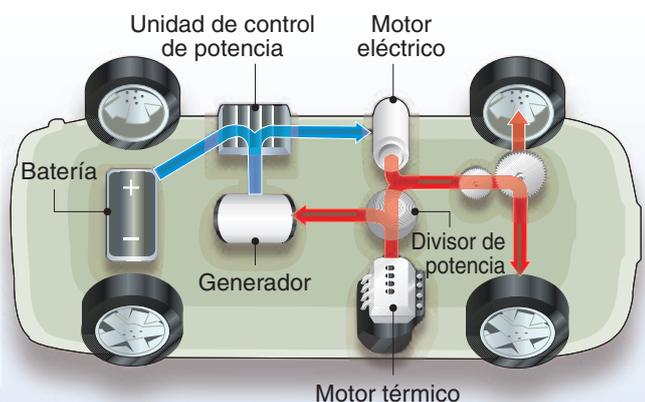
A continuación se describen los diferentes modos de funcionamiento de un vehículo híbrido de tipo serie-paralelo (figura 20.8).



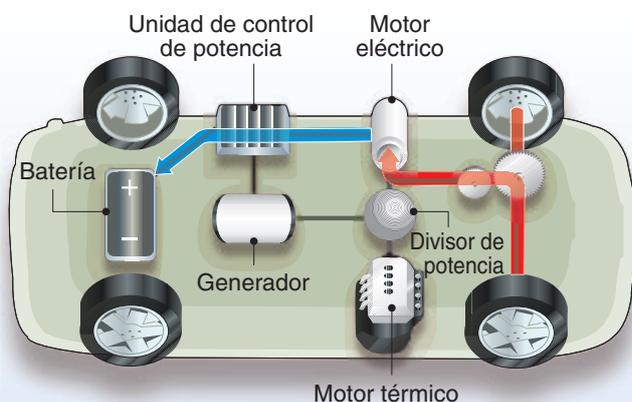
El inicio de la marcha se realiza solo con el motor eléctrico alimentado por la batería de alto voltaje. Puede circular solo con motor eléctrico hasta los 50 km/h.



Cuando aumenta la velocidad empieza a funcionar el motor térmico. Dependiendo de las condiciones de la conducción, si hay exceso de energía se recarga la batería y si es necesario el motor térmico es ayudado por el eléctrico.



En aceleración tanto el motor térmico como el eléctrico impulsan conjuntamente el vehículo.



Al reducir velocidad o frenar el generador aprovecha la energía cinética y carga la batería.

↑ Figura 20.8. Híbrido serie paralelo.

3. Vehículo de propulsión eléctrica

Se denomina vehículo eléctrico a aquel que está impulsado únicamente por un motor eléctrico, aunque puede tener varias fuentes de energía de procedencias diferentes:

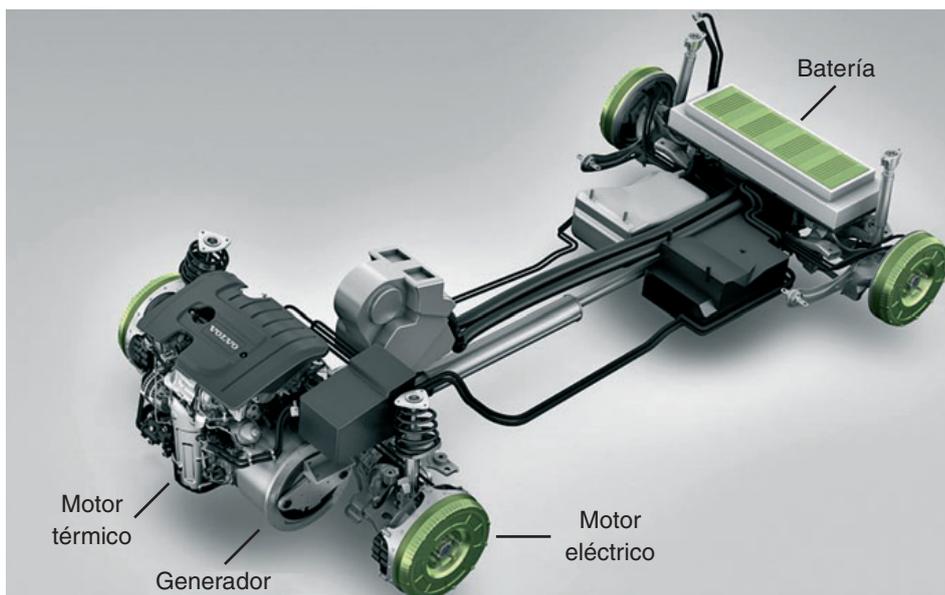
- La red eléctrica exterior para recargar las baterías.
- Una pila de hidrógeno que genera electricidad.
- Un motor térmico unido a un generador pero desacoplado mecánicamente de las ruedas.

Actualmente se desarrollan dos tipos de vehículo eléctrico:

- Vehículo eléctrico con batería recargable en la red exterior.
- Vehículo eléctrico con pila de hidrógeno.

3.1. Vehículo eléctrico con batería recargable en la red

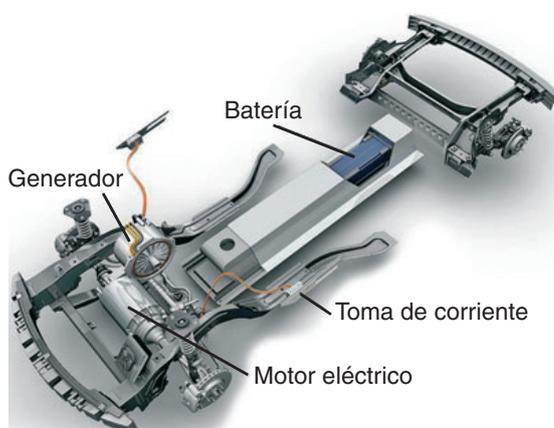
Consta de un motor eléctrico unido a la transmisión y una batería generalmente de iones de litio que se recarga conectándola a la red. En la mayoría de estos automóviles se monta un pequeño motor térmico que genera electricidad para aumentar la autonomía (figura 20.9).



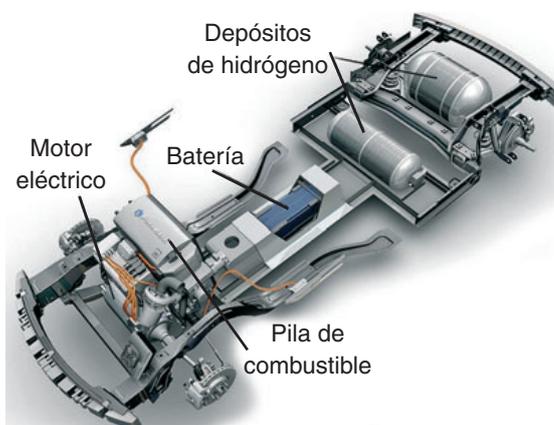
↑ **Figura 20.9.** Vehículo con motores eléctricos integrados en las ruedas.

La **batería** de litio con un peso de 150 a 200 kg puede dar una autonomía al vehículo de entre 50 y 100 km de recorrido y se recarga totalmente en tres o cuatro horas si se conecta a un enchufe de 230 V. También es posible efectuar recargas parciales, el 80% de la carga se puede obtener en 20 o 30 minutos con una conexión de 400 V.

Este vehículo, impulsado solo por la energía eléctrica almacenada en la batería, puede cubrir las necesidades diarias de un conductor urbano medio, sin emitir gases contaminantes. El principal inconveniente de las baterías de litio es su elevado coste.



↑ Figura 20.10. Motor eléctrico y generador.



↑ Figura 20.11. Vehículo con pila de hidrógeno.

El **motor térmico** se emplea exclusivamente para mover un generador que se pondrá en marcha solo cuando la carga de la batería sea inferior al 20% de su capacidad. El generador suministra corriente al motor eléctrico aumentando la autonomía en caso de no poder recargar la batería. El motor funciona a regímenes bastante estables entre 1.500 y 2.000 rpm para conseguir un buen rendimiento y un bajo consumo. Si se necesita más potencia puede subir por encima de las 4.000 rpm.

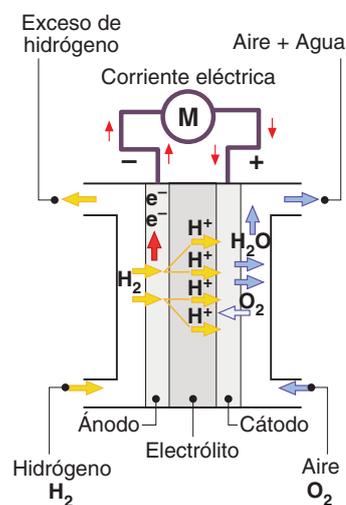
El **motor eléctrico** (figura 20.10) es de tipo síncrono y funciona con corriente alterna trifásica. Puede actuar también como generador para recuperar energía cinética en las frenadas y en retención, y convertirla en energía eléctrica para recargar las baterías.

3.2. Vehículo eléctrico con pila de hidrógeno

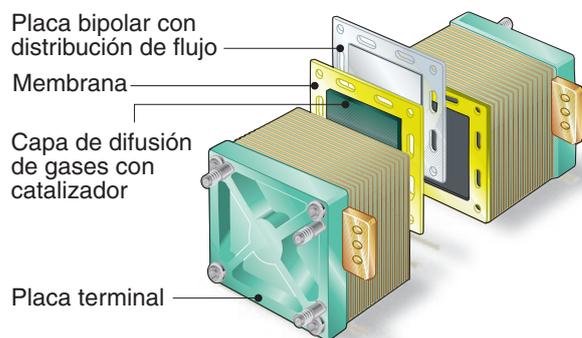
Este vehículo utiliza una pila de combustible que produce la electricidad necesaria para alimentar al motor eléctrico (figura 20.11). Esta pila consume hidrógeno que se almacena en unos tanques instalados en el vehículo y no necesita ser cargada con una conexión exterior. Incorpora además una batería de litio para almacenar la energía recuperada. El vehículo no emite ningún gas contaminante puesto que el único producto resultante del proceso químico en la pila de combustible es agua.

La **pila de combustible** es un generador que consume hidrógeno y lo transforma en energía eléctrica a través de un proceso de electrólisis inversa, es decir, se hace reaccionar el hidrógeno con el oxígeno del aire para producir la electricidad. La pila de combustible funciona siempre que se le siga suministrando el combustible y el oxidante.

Una pila de hidrógeno está constituida por un conjunto de células (figura 20.12). Cada una de estas células contiene dos electrodos separados por una membrana, el ánodo (negativo) es alimentado con hidrógeno en forma gaseosa (H_2), y el cátodo (positivo) recibe oxígeno (O_2) procedente del aire (figura 20.13). La membrana actúa como un electrólito que tiene la propiedad de bloquear los electrones pero es conductora para los protones (H^+).



↑ Figura 20.13. Principio de funcionamiento de la pila de combustible.



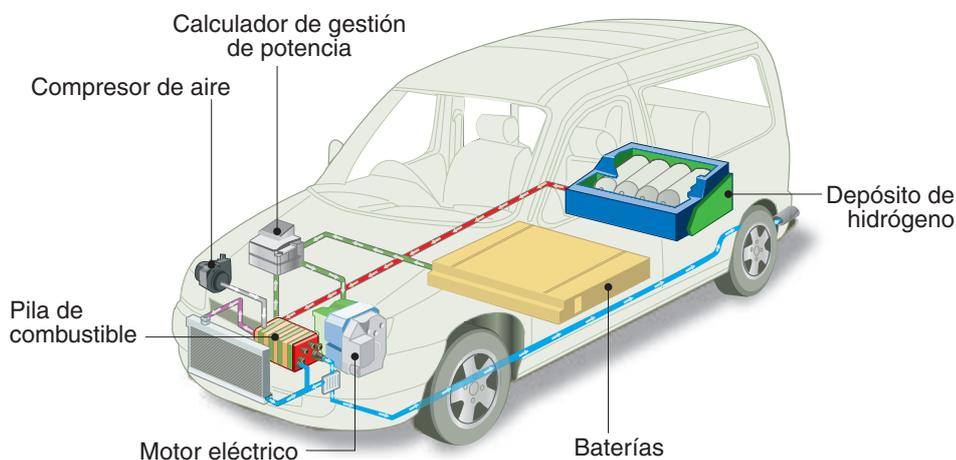
↑ Figura 20.12. Pila de combustible compuesta por un conjunto de células.

El ánodo contiene partículas de platino que actúan como catalizador haciendo que el hidrógeno se disocie en electrones y protones. Los electrones liberados que no pueden pasar a través de la membrana son obligados a dirigirse hacia el cátodo por el circuito exterior creando una corriente eléctrica, al mismo tiempo, los

iones de hidrógeno atraviesan la membrana para llegar al catalizador del cátodo donde reaccionan con el oxígeno para formar moléculas de agua (H₂O). El agua resultante de la reacción es evacuada al exterior. Esta pila opera a una temperatura aproximada de 90 °C.

La **batería de litio** almacena la electricidad que se recupera por medio del motor-generator, en retención o en frenadas. En algunos casos es posible recargar la batería conectándola a la red cuando el vehículo está parado.

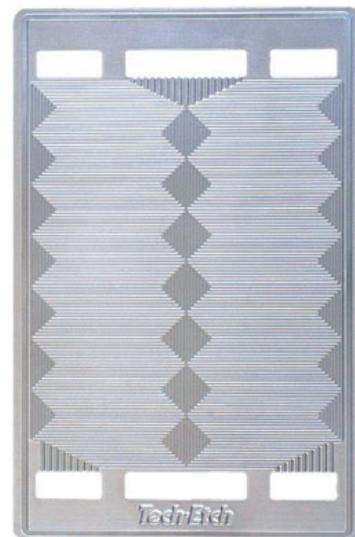
El **hidrógeno** se almacena en estado gaseoso en tanques con presiones entre 300 y 700 bares. Cada tanque puede almacenar de 3 a 5 kg de H₂ en función de su presión. Como ejemplo, un vehículo con pila de hidrógeno y motor eléctrico de 90 kW podría tener una autonomía de 350 km con 3,5 kg de hidrógeno, en la figura 20.15 se pueden apreciar todos los componentes de este tipo de vehículo.



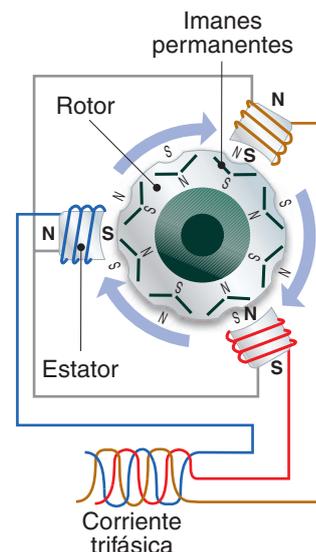
↑ **Figura 20.15.** Componentes de un vehículo con pila de combustible.

El **motor síncrono trifásico** se caracteriza porque su velocidad de giro es proporcional a la frecuencia de la corriente alterna que lo alimenta (figura 20.16). La corriente trifásica circula por los tres grupos de bobinas del estator creando un campo magnético giratorio, los imanes permanentes del rotor giran sincrónicamente con el campo del estator.

La regulación de la velocidad y el par motor es una función de la unidad de control que a través del inversor-convertidor varía la frecuencia y la tensión de alimentación. El motor síncrono también puede funcionar como generador (figura 20.17).



↑ **Figura 20.14.** Placa bipolar de una pila de combustible.



↑ **Figura 20.16.** Esquema de funcionamiento de un motor síncrono trifásico.



← **Figura 20.17.** Motor eléctrico en la transmisión.



ACTIVIDADES FINALES

- 1 ¿Qué objetivos persiguen las tecnologías alternativas en la propulsión de los vehículos?
- 2 ¿Cuáles son los dos sistemas de propulsión que utilizan los vehículos híbridos?
- 3 ¿En qué situación funcionan conjuntamente el motor térmico y el eléctrico en un vehículo híbrido?
- 4 Explica cómo se recupera energía en las frenadas.
- 5 ¿En qué consiste la función Stop-Start?
- 6 Describe las funciones del inversor-convertidor en el vehículo híbrido.
- 7 ¿Qué características tiene un vehículo de propulsión eléctrica?
- 8 ¿Qué misión tiene el motor térmico en un vehículo eléctrico?
- 9 ¿De qué elementos consta un vehículo eléctrico con batería recargable en la red?
- 10 Describe las diferencias de funcionamiento entre un vehículo híbrido eléctrico y un vehículo eléctrico con batería recargable en la red.
- 11 ¿Cómo está compuesta una célula de una pila de hidrógeno?
- 12 Nombra todos los componentes de un vehículo eléctrico con pila de hidrógeno.
- 13 Explica el proceso de generación de corriente en una pila de combustible.
- 14 ¿Qué características de funcionamiento tiene un motor síncrono trifásico?
- 15 ¿Qué autonomía pueden tener actualmente un vehículo eléctrico y uno de pila de combustible?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1 ¿Cuál es el sistema híbrido más empleado?

- a) Serie.
- b) Paralelo.
- c) Serie-paralelo.
- d) Todos por igual.

2 ¿Qué tipo de motor eléctrico se usa en los vehículos híbridos y eléctricos?

- a) Motor en serie de corriente continua.
- b) Motor monofásico de corriente alterna.
- c) Motor trifásico de corriente alterna.
- d) Motor asíncrono de corriente continua.

3 El inicio de la marcha en un vehículo híbrido se realiza...

- a) Con el motor térmico.
- b) Con el motor eléctrico.
- c) Conjuntamente el motor térmico y el eléctrico.
- d) Con el generador eléctrico.

4 ¿Qué fuentes de energía puede tener un vehículo eléctrico?

- a) Las baterías recargadas mediante la red eléctrica.
- b) Una pila de hidrógeno que genera electricidad.
- c) Un generador acoplado a un motor térmico.
- d) Una o más de las anteriores.

5 ¿Qué tipo de vehículo es el menos contaminante?

- a) El vehículo híbrido.
- b) El vehículo eléctrico.
- c) El vehículo con pila de combustible.
- d) Los tres por igual.

6 ¿Qué tipo de batería es la más usada actualmente en los vehículos eléctricos?

- a) La batería de iones de litio.
- b) La batería de níquel-hidruro metálico.
- c) La batería de plomo-ácido.
- d) La batería de níquel-cadmio.

7 ¿Qué propiedad tiene el electrólito de la membrana en una pila de combustible?

- a) Impide el paso del oxígeno.
- b) Bloquea los electrones pero es conductora para los protones.
- c) Conduce tanto los electrones como los protones.
- d) Combina el hidrógeno con el oxígeno.

8 ¿Qué presiones se utilizan para almacenar el hidrógeno en los tanques del vehículo?

- a) de 300 a 700 bares.
- b) De 50 a 100 bares.
- c) De 20 a 80 bares.
- d) De 1.500 a 2.000 bares.



PRÁCTICA PROFESIONAL

MATERIAL

- Internet
- Revistas
- Documentación técnica

Características técnicas de los nuevos vehículos híbridos y eléctricos

OBJETIVO

Conocer las características de este tipo de vehículos que están saliendo actualmente al mercado.

DESARROLLO

Investigar en internet y en otros medios y recopilar los datos que nos permitan conocer las técnicas que emplean estos vehículos.

Honda FCX Clarity

Utiliza una pila de combustible en combinación con una batería de iones de litio y un depósito de hidrógeno, que impulsa el motor eléctrico del vehículo, puede alcanzar los 160 km/h y tiene una autonomía de 460 kilómetros.

El Honda FCX Clarity representa una importante mejora en eficiencia energética, ya que aprovecha el 60% de la energía generada a partir del combustible, frente al 30% de los híbridos y el 19% de los vehículos de gasolina.

Mercedes-Benz Clase B F-CELL

Es un vehículo propulsado por un motor eléctrico que se alimenta a través de una pila de combustible que funciona con hidrógeno (H_2) en estado gaseoso.

Además cuenta con unas baterías de iones de litio con una potencia de 90 kW, que actúan cuando se requiere la máxima aceleración.

El motor eléctrico tiene una potencia máxima de 100 kW (136 CV) y un par máximo de 320 Nm. El Clase B F-CELL alcanza una velocidad máxima de 180 km/h. La autonomía total supera los 400 km.

El depósito de hidrógeno, formado por dos bombonas que van ubicadas bajo el piso, tiene una capacidad de 3,6 kg. El Clase B F-CELL consume aproximadamente 1 kg/100 km de hidrógeno (Mercedes-Benz afirma que su consumo equivale a unos 2,9 L/100 km de Diesel).

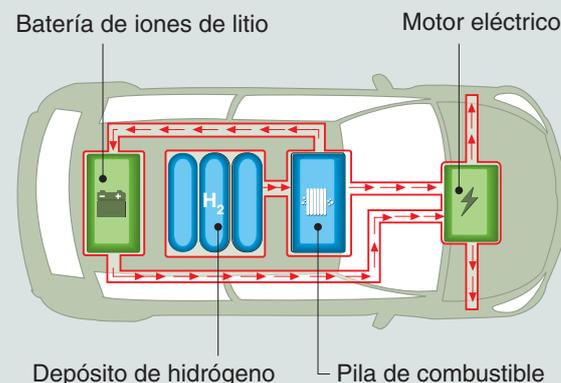
Renault Scenic ZEV H2

Algunas características técnicas:

- Motorización eléctrica asíncrona única, con una potencia de 90 kW.
- Batería Ion-litio, que funciona con una tensión del orden de 400 V y una potencia de 25 kW.



↑ Figura 20.18. Honda FCX Clarity.



↑ Figura 20.19.

- Pila de combustible alimentada por hidrógeno gaseoso, comprimido a 350 bares.
- Optimización del consumo de hidrógeno: sistema de recuperación de la energía al frenar y almacenado de la energía en la batería de potencia, que la devolverá cuando sea necesario.
- Velocidad máxima: 160 km/h.
- Aceleración 0-100 km/h: 14"65.
- Autonomía: del orden de 350 km (ciclo NEDC) con un depósito de hidrógeno a 350 bares (3,7 kg de H₂). El depósito está previsto para recibir 700 bares a medio plazo, para ofrecer así una autonomía de más de 500 km.

Chevrolet Volt

Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (E-REV). Se trata de un automóvil que utiliza la electricidad como principal fuente de alimentación, gracias a su paquete de baterías de iones de litio. Tras recorrer 60 km, un motor de gasolina o de etanol E85 aumenta la autonomía del Volt, generando la electricidad adicional necesaria para recorrer varios cientos más de kilómetros.

Al tratarse de un motor que únicamente se utiliza para recargar las baterías, el ahorro de combustible es enorme, como demuestran los siguientes datos:

- El Volt no utiliza gasolina ni produce emisiones contaminantes durante los primeros 60 km de conducción (el recorrido habitual del conductor urbano medio), lo que permite ahorrar unos 1.900 litros de combustible al año.
- Se calcula que quienes conduzcan un Volt más de 100 km al día podrán ahorrar aproximadamente 2.100 litros de combustible al año.
- Las baterías del Volt se pueden recargar en cualquier toma de corriente de 230 V, quedando totalmente cargadas en menos de tres horas. Si la recarga se hace durante la noche, el coste total no llegaría a un euro cada vez.
- La unidad de conducción eléctrica del Volt proporciona 150 CV de potencia y permite alcanzar una velocidad máxima de 161 km/h. La propulsión eléctrica suministra un par motor inmediato, lo que hace que la aceleración del Volt sea sumamente rápida, pasando de 0 a 100 km/h en apenas 8,5 segundos.



↑ Figura 20.20.

Toyota Prius

Se caracteriza por tener un sistema de propulsión híbrido compuesto por un motor eléctrico y otro de gasolina. El motor de gasolina funciona con ciclo Atkinson, tiene 1,8 L y da 99 CV. El motor eléctrico 82 CV. Un engranaje planetario hace de caja de cambios automática.

El consumo medio es 3,9 L/100 km (89 g/km de CO₂)

La batería del Prius es de níquel e hidruro metálico; la fabrica Panasonic. Da 202 V, tiene 6,5 Ah de capacidad, pesa 42 kg y tiene una alta densidad de energía.

Está conectada a un elemento que convierte los 202 V de corriente continua en 650 V de corriente alterna. Este dispositivo también invierte la corriente eléctrica cuando hay que cargar la batería (bien con el generador, o bien con el motor eléctrico).

El motor eléctrico lo fabrica Toyota. Es un motor síncrono de imanes permanentes de neodimio. Funciona a 500 V y puede dar 50 kW entre 1.200 y 1.540 rpm. Su par máximo es 400 Nm hasta 1.200 rpm. Pesa 104 kg.

Además el botón «EV», permite funcionar únicamente con el motor eléctrico (una distancia pequeña, sobre un kilómetro y medio, y a velocidad inferior a 50 km/h).



MUNDO TÉCNICO

La batería de iones de litio

Si las previsiones de los expertos sobre la evolución del mercado de vehículos híbridos y eléctricos se mantienen, las baterías son el componente fundamental del nuevo mercado de vehículos ecológicos.

Entre las propiedades que han favorecido el apoyo generalizado de la industria a la tecnología Li-ion, destacan su ligereza, capacidad energética y resistencia a la descarga en relación con su peso y tamaño, ausencia de efecto memoria y rendimiento regular.

Las baterías de iones de litio superan, en todas estas especificaciones, a las dos otras tecnologías empleadas en la actualidad: las baterías de níquel cadmio (Ni-Cd) y las de níquel e hidruro metálico (Ni-MH).

Las baterías de Ni-MH, fiables y duraderas, aunque más aparatosas y contaminantes que las de iones de litio, además de menos potentes en relación con su peso y dimensiones, han sido usadas en los últimos años en la mayoría de vehículos híbridos, incluyendo el motor de todos los modelos de Toyota Prius hasta el momento. Su tasa de autodescarga es mayor que en las baterías de iones de litio y en las de níquel cadmio. Estas últimas no han sido empleadas en la industria del automóvil y están siendo abandonadas en todo el mundo debido al uso del peligroso (y difícil de eliminar del medio ambiente) cadmio.

Pero no todo son ventajas en las baterías de iones de litio. Entre sus principales inconvenientes, destaca su todavía elevado coste de producción y su limitado número de cargas, entre 300 y 1.000. Pero la unanimidad de la industria en apostar por la batería de iones de litio para el coche eléctrico responde a la confianza en que ambos escollos, el coste y el número de recargas, serán salvados en los próximos años.

Barato de conducir, caro de producir

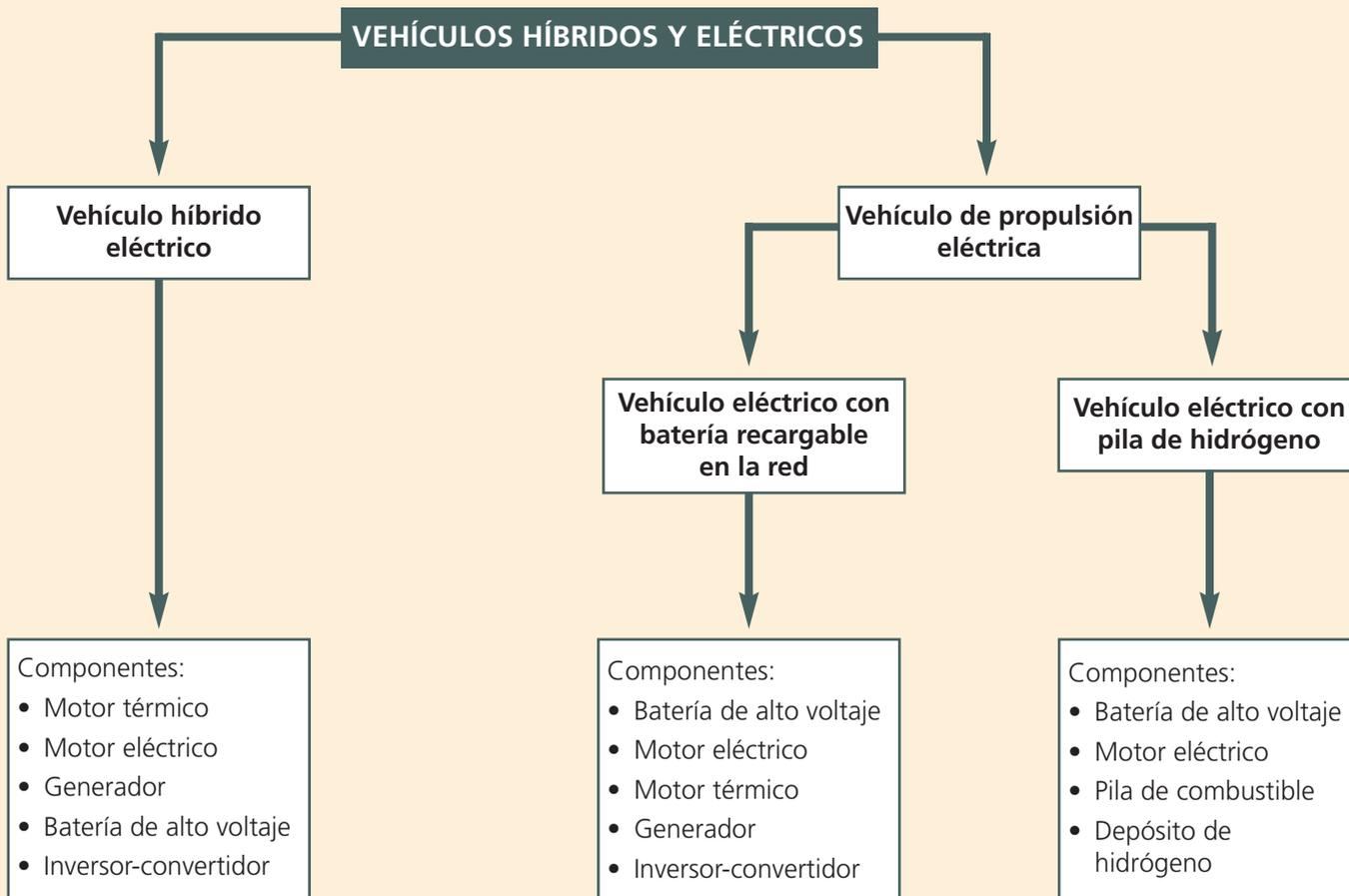
Según cálculos de la firma de componentes alemana Bosch, conducir un coche eléctrico actual es más sostenible y económico en términos energéticos que hacerlo con un coche con motor de explosión (diésel inclusive) o un híbrido. Mientras 1 kWh de energía sirve a un coche con motor convencional para desplazarse entre 1,5 y 2,5 kilómetros, y un híbrido que combine un motor diésel y propulsión eléctrica alcanza los 3,2 kilómetros con la misma cantidad de energía, un coche eléctrico con batería de iones de litio es capaz de viajar 6,5 kilómetros con 1 kWh.

Además, la energía empleada por un coche eléctrico será más barata. Los propietarios de garajes y estacionamientos junto a casa pueden conectar el vehículo a la red doméstica durante la noche, momento en que la demanda energética y precio son inferiores. Incluso en el supuesto de necesitar parte del día para realizar recargas (por ejemplo, cuando el vehículo esté estacionado en el trabajo, en el supermercado, en el cine, etc.), el coste de la electricidad es todavía inferior al de los derivados del petróleo.

Además de la mayor eficiencia y el menor coste derivado de la conducción de vehículo propulsado por una batería de iones de litio, el coche eléctrico no emite CO₂, con lo que se eliminan riesgos medioambientales y para la salud de los residentes en zonas urbanas. Si, además, parte de la energía empleada para producir la electricidad de la recarga procede de fuentes renovables, la huella ecológica del coche eléctrico se acerca a la neutralidad.

Cabe esperar, con el aumento de acuerdos estatales, supranacionales y mundiales sobre la reducción de emisiones en la generación de energía (como la inversión en tecnologías de secuestro de CO₂ procedente de la combustión de carbón), que la electricidad empleada en la recarga de millones de vehículos reduzca su impacto a medida que se implante el coche eléctrico.

EN RESUMEN



entra en internet

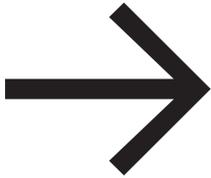
1. Puedes encontrar más información sobre vehículos híbridos y eléctricos en las siguientes páginas:

- <http://www.mecanicavirtual.org/hibridos.htm>
- <http://www.insightcentral.net/encyclopedia/index.html>
- <http://www.km77.com/tecnic/a/alternativas/clasificacionhibridos/t01.asp>
- <http://www.renault-ze.com/es/>
- <http://automobiles.honda.com/spanish/fcx-clarity/>
- http://www.toyota.es/cars/new_cars/prius/index.aspx

Licenciado a Paul Fernando Merino Morillo - paulmerino@hotmail.com

© Editorial Editex. Este archivo es para uso personal cualquier forma de reproducción o distribución debe ser autorizada por el titular del copyright.

UNIDADES	RESPUESTAS CORRECTAS DE LA SECCIÓN							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	b	d	d	a	c	b	a	a
2	d	b	c	c	c	d	c	d
3	a	b	a	c	c	d	c	a
4	d	d	c	c	b	d	c	d
5	b	a	a	d	a	a	a	c
6	b	d	d	c	a	b	c	a
7	c	d	a	a	b	c	a	d
8	c	a	b	a	a	c	b	a
9	c	d	b	a	b	d	d	a
10	a	c	b	d	c	a	b	c
11	b	a	b	a	c	d	c	a
12	a	d	c	b	d	a	d	b
13	b	d	b	a	b	d	a	c
14	b	a	b	c	d	c	a	b
15	d	a	b	b	d	c	a	c
16	a	d	c	b	b	a	c	d
17	c	a	b	c	a	d	d	c
18	c	b	a	b	d	c	d	a
19	d	b	a	b	a	d	a	d
20	c	c	b	d	c	a	b	a



Edición: Javier Ablanque

Diseño de cubierta: Paso de Zebra

**Fotocomposición, maquetación
y realización de gráficos:** I.C. Claroscuro, S.L.

Fotografías: Audi, BMW, Bosch, Citroën, Estebán José Domínguez, Fiat Auto España, S. A., Ford, Hyundai, Honda, Julián Ferrer, Km77.com, Lancia, Mazda Corporation, Mercedes, Mitsubishi, Opel, Peugeot, Porsche Ibérica, S. A., Renault, Saab, Seat, Tecner, Toyota, Volkswagen, Yamaha, autor y archivo Editex

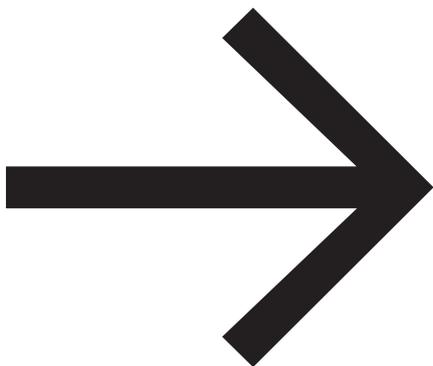
Dibujos: I.C. Claroscuro, S.L. y J.B. Estudio Gráfico y Editorial, S.L.

Preimpresión: José Ciria

Producción editorial: Francisco Antón

Dirección editorial: Carlos Rodríguez

Editorial Editex, S. A. ha puesto todos los medios a su alcance para reconocer en citas y referencias los eventuales derechos de terceros y cumplir todos los requisitos establecidos por la Ley de Propiedad Intelectual. Por las posibles omisiones o errores, se excusa anticipadamente y está dispuesta a introducir las correcciones precisas en posteriores ediciones o reimpressiones de esta obra.



El presente material didáctico ha sido creado por iniciativa y bajo la coordinación de **Editorial Editex, S. A.**, conforme a su propio proyecto editorial.

© Santiago Sanz Acebes

© **Editorial Editex, S. A.**

Vía Dos Castillas, 33. C.E. Ática 7, edificio 3, planta 3ª, oficina B
28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid)

ISBN papel: 978-84-9771-538-6

ISBN eBook: 978-84-9003-172-8

ISBN LED: 978-84-9003-173-5

Depósito Legal: M-10584-2011

Imprime: Orymu

Ruiz de Alda, 1-3. Polígono Industrial La Estación

28320 Pinto. Madrid

Impreso en España - Printed in Spain

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

Licenciado a Paul Fernando Merino Morillo - paulmerino@hotmail.com

© Editorial Editex. Este archivo es para uso personal cualquier forma de reproducción o distribución debe ser autorizada por el titular del copyright.