

u
n
i
d
a
d

6

Características de los motores

SUMARIO

- Cilindrada
- Relación de compresión
- Par motor y potencia
- Consumo específico
- Rendimiento
- Curvas características
- Elasticidad
- Disposición de los cilindros

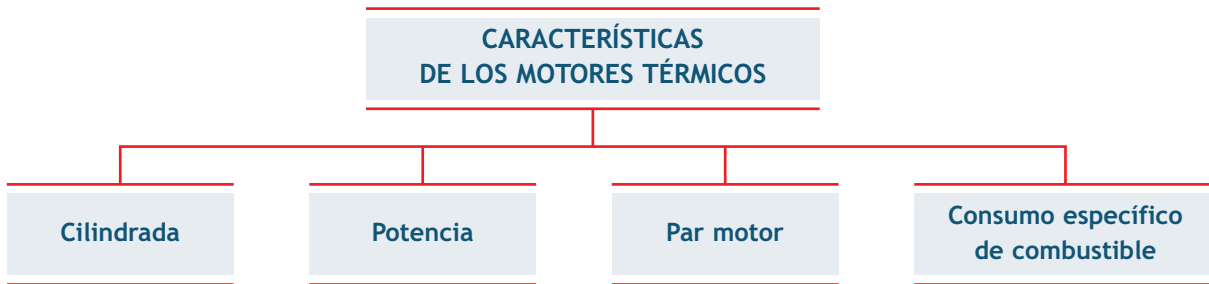
OBJETIVOS

- Identificar las características constructivas de los distintos tipos de motores.
- Analizar las causas que influyen sobre las diferentes características.
- Utilizar los conceptos físicos para entender el funcionamiento del motor.
- Interpretar las curvas características que pertenecen a cada motor.

1 >> Características de los motores térmicos

El motor térmico es una máquina que transforma la energía calorífica en energía mecánica.

El motor de gasolina, el motor diésel y la máquina de vapor son ejemplos de motores térmicos. Los motores térmicos tienen unas características que los diferencian unos de otros. Se pueden resaltar las siguientes:



1.1 > Cilindrada

Los cilindros son los huecos mecanizados de forma cilíndrica, situadas en el bloque motor. El número y el volumen de cilindros es diferente en cada motor. Sus características principales son:

- La carrera. Es la distancia que recorre el pistón desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI).
- El volumen unitario. Es el volumen de un cilindro.
- El volumen total del motor. Es el producto del volumen unitario por el número de cilindros.

La cilindrada total de un motor térmico se calcula a partir de la cilindrada de cada uno de sus cilindros. La cilindrada unitaria (V_u) es el volumen de un solo cilindro:

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L, \quad \text{donde } L: \text{carrera}$$

d: diámetro o calibre

Una vez calculada la cilindrada unitaria, se calcula la cilindrada total (V_t) del motor. Para ello, se multiplica el volumen de un cilindro por el número de cilindros:

$$V_t = V_u \cdot n, \quad \text{donde } n: \text{número de cilindros}$$

Las herramientas utilizadas para medir los cilindros son las siguientes:

- La sonda de un calibre, que se usa para medir la carrera.
- Las orejetas de un calibre, utilizadas para medir el diámetro de forma aproximada.
- Un micrómetro de interiores o un alexómetro, y un micrómetro de exteriores para medir el diámetro de forma exacta.

Estas medidas se realizan en milímetros (mm), aunque para el volumen se emplea el centímetro cúbico (cm^3) o el litro (l).

Volumen de un cuerpo cilíndrico

El volumen de un cilindro se calcula multiplicando la constante π por el radio de la base (r) al cuadrado y por la altura del cilindro (h). Esto es:

$$V = S \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Sabiendo que el radio equivale a la mitad del diámetro:

$$r = \frac{d}{2}$$

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h$$

Equivalencias entre medidas de capacidad

Las principales equivalencias son:

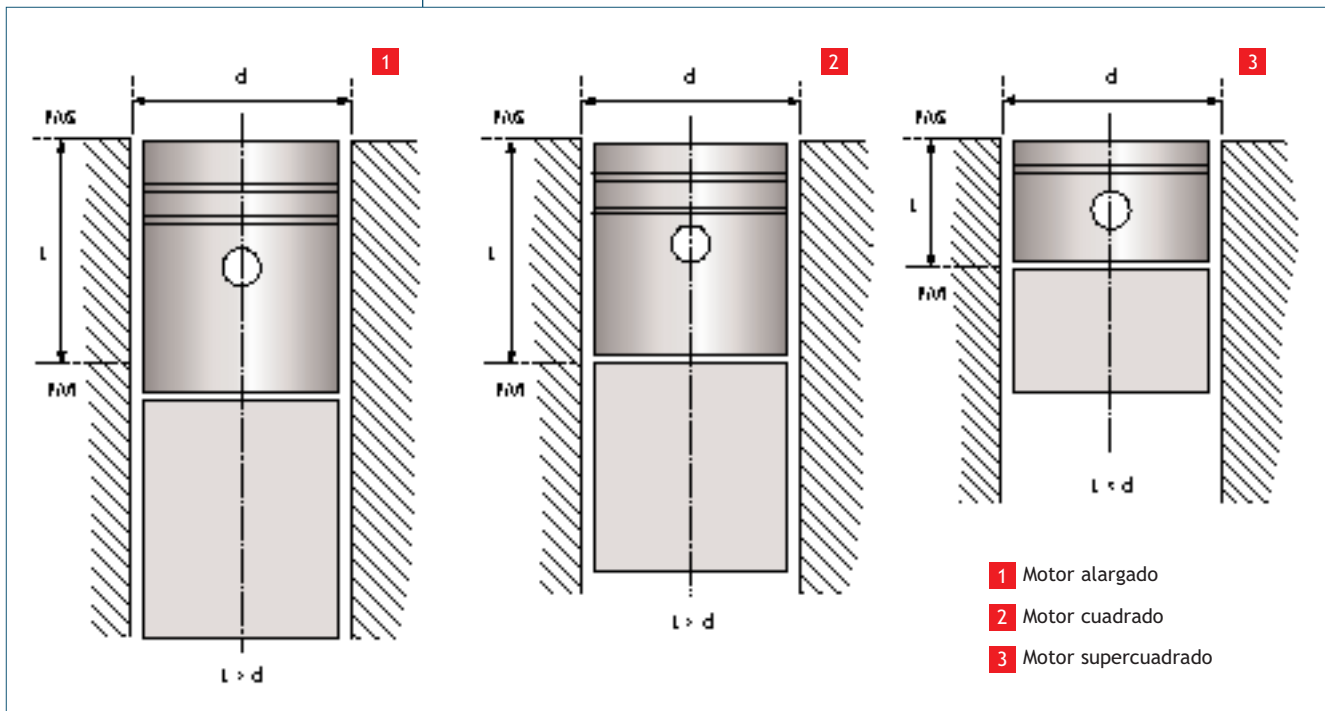
$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ 000 cm}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro}$$

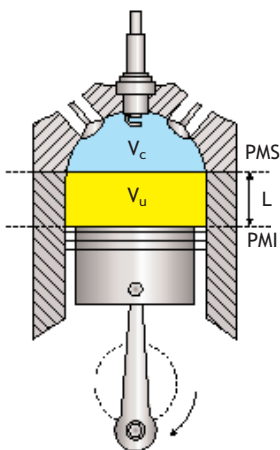
$$1 \text{ litro} = 1 \text{ 000 cm}^3$$

Los motores, dependiendo de la carrera y del diámetro de sus cilindros (figura 6.1), pueden ser:

- **Motores alargados.** En estos motores la carrera es mayor que el diámetro. Estos motores no alcanzan revoluciones demasiado altas. En la actualidad son más usados para motores diésel que para motores de gasolina.
- **Motores cuadrados.** La carrera y el diámetro tienen la misma longitud, es decir, la relación entre la carrera y el diámetro es 1. Las revoluciones alcanzadas por este tipo de motores son mayores que en los alargados.
- **Motores supercuadrados.** El diámetro del cilindro es mayor que la carrera. Se pueden alcanzar revoluciones muy altas. Son utilizados para vehículos de gasolina muy revolucionados.



6.1. Tipos de motores en función de la carrera y el diámetro de sus cilindros.



6.2. Relación de compresión.

1.2 > Relación de compresión

La relación de compresión es un número que indica el número de veces que es mayor el volumen que ocupa la mezcla al final de la admisión (pistón en PMI), respecto al volumen al final de la compresión (pistón en PMS).

Esta definición se resume en la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}, \text{ donde } R_c: \text{relación de compresión}$$

V_u : volumen unitario
 V_c : volumen de la cámara de compresión

Si aumenta el volumen del cilindro, la relación de compresión aumenta, pero si aumenta el volumen de la cámara de compresión, la relación de compresión disminuye.

>> Casos prácticos

Cálculo de la cilindrada y relación de compresión en motores de 4 cilindros

•• Calcula el volumen unitario, la cilindrada y la relación de compresión para los siguientes motores cuyo volumen de la cámara es 49 cm^3 :

a) Un motor de 4 cilindros alargado con una carrera de 72 mm y un calibre de 70 mm.

b) Un motor de 4 cilindros cuadrado con un diámetro de 78,16 mm.

Solución •• Antes de comenzar a resolver el caso práctico, conviene transformar los datos en mm a cm:

a) Los datos aportados por el enunciado son:

$$n = 4; V_c = 49 \text{ cm}^3; L = 72 \text{ mm} = 7,2 \text{ cm}; d = 70 \text{ mm} = 7 \text{ cm}$$

Se trata de averiguar el valor de V_u , V_t y R_c .

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L; V_u = \frac{\pi \cdot (7 \text{ cm})^2}{4} \cdot 7,2 \text{ cm} = \frac{\pi \cdot 49 \text{ cm}^2}{4} \cdot 7,2 \text{ cm} = 277,088 \text{ cm}^3$$

$$V_t = V_u \cdot n; V_t = 277,088 \text{ cm}^3 \cdot 4 = 1\,108,35 \text{ cm}^3$$

El volumen de un cilindro es $277,088 \text{ cm}^3$ y la cilindrada del motor es $1\,100 \text{ cm}^3$ o 1,1 litros. Por tanto:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}; R_c = \frac{277,080 \text{ cm}^3 + 49 \text{ cm}^3}{49 \text{ cm}^3} = 6,65/1$$

b) Los datos que aporta el enunciado son los siguientes:

$$n = 4; V_c = 49 \text{ cm}^3; d = 78,16 \text{ mm} = 7,816 \text{ cm}$$

Por tratarse de un motor cuadrado, la carrera coincide con el calibre, es decir, es igual a d .

Se trata de averiguar el valor de V_u , V_t y R_c .

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L; V_u = \frac{\pi \cdot (7,816 \text{ cm})^2}{4} \cdot 7,816 \text{ cm} = 375 \text{ cm}^3$$

$$V_t = V_u \cdot n; V_t = 375 \text{ cm}^3 \cdot 4 = 1\,500 \text{ cm}^3$$

El volumen unitario es 375 cm^3 y la cilindrada $1\,500 \text{ cm}^3$. Por tanto:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}; R_c = \frac{375 \text{ cm}^3 + 49 \text{ cm}^3}{49 \text{ cm}^3} = 8,65/1$$

Tal y como se puede observar en los resultados, en motores con el mismo volumen en la cámara de compresión, tiene mayor relación de compresión aquel que tenga mayor volumen unitario.

1.3 > Par motor

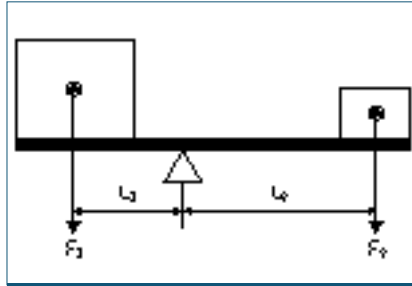
El par motor (M) es el producto de la fuerza aplicada sobre un cuerpo para hacerle girar, por la distancia al punto de giro.

La fórmula que resume la anterior definición es:

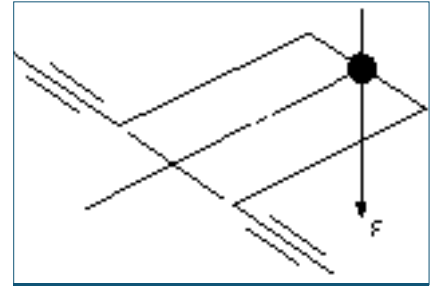
$$M = F \cdot r, \text{ donde } F: \text{ fuerza} \\ r: \text{ radio de giro}$$

La unidad de la fuerza en el sistema internacional es el newton (N) y la del radio es el metro (m), por lo que la unidad de par es newton por metro (Nm).

El par generado en el motor es consecuencia de la longitud de la muñequilla del cigüeñal, y de la fuerza que recibe esta del pistón a través de la biela. La longitud de la muñequilla es constante, no así la fuerza recibida por el cigüeñal, que es distinta para cada número de revoluciones.



6.3. Equilibrio por igualdad de par.



6.4. Par motor aplicado al cigüeñal.

>> Casos prácticos

Cálculo del par motor

•• ¿Qué par desarrollará un motor si recibe una fuerza de 625 kg sobre la muñequilla del cigüeñal, y el radio de la muñequilla tiene una longitud de 40 mm?

Solución •• Los datos aportados por el enunciado son: $F = 625 \text{ kg}$; $r = 40 \text{ mm}$

Debes calcular el par motor M , teniendo en cuenta que antes tienes que pasar kg a N y los mm a m:

$$M = F \cdot r; M = 625 \text{ kg} \cdot 40 \text{ mm} = 625 \text{ kg} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \cdot 40 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 625 \text{ N} \cdot 0,04 \text{ m} = 245 \text{ Nm}$$

V Vocabulario

Velocidad: espacio recorrido por unidad de tiempo.

Aceleración: incremento de velocidad por unidad de tiempo.

Fuerza: causa capaz de deformar un cuerpo o de producirle una aceleración.

Trabajo: fuerza que aplicamos durante un determinado espacio.

1.4 > Potencia

La potencia (P) es el trabajo desarrollado por unidad de tiempo. La potencia de un vehículo se desarrolla en el desplazamiento de la carga.

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

Si en la fórmula de la potencia, se sustituye el trabajo por su valor y el espacio partido de tiempo (e/t) por velocidad (v) se obtiene que:

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

Por tanto, cuanto mayor es la velocidad para realizar un trabajo, mayor es la potencia conseguida.

La unidad de potencia en el sistema internacional es el vatio (W), pero en el mundo de la automoción es más usual utilizar el kilovatio (kW) o el caballo de vapor (CV).

La potencia en el motor se obtiene multiplicando el par motor por la velocidad angular (n) que puede venir dada en revoluciones por minuto (rpm) o por los radianes por segundo (rad/s):

$$P = M \cdot n$$

La velocidad angular, que normalmente viene dada en revoluciones por minuto, se debe pasar a radianes por segundo para obtener el resultado en vatios. Sabiendo que una revolución es igual a 2π radianes y un minuto a 60 segundos, la equivalencia entre rpm y radianes por segundo es:

$$1 \text{ rpm} = 1 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{2 \pi \text{ radianes}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = \frac{1 \text{ radian}}{9,55 \text{ segundos}}$$

Por tanto, si la velocidad angular (n) viene dada en rpm se divide por la constante 9,55 para obtenerla en radianes por segundo.

$$P = \frac{M \cdot n}{9,55}$$

Si a la potencia efectiva máxima, que normalmente aparece en las características técnicas, la dividimos entre la cilindrada, tenemos la **potencia específica** respecto del volumen. Se mide en kW/l. Cuanto mayor es este valor mejor es el rendimiento del motor.

En la siguiente tabla se resumen las magnitudes de esta unidad didáctica:

Magnitud	Símbolo	Fórmula	Unidades
Tiempo	t		segundo (s)
Espacio	e		metro (m)
Masa	m		kg
Velocidad	v	v = e/t	m/s
Aceleración	a	a = v/t	m/s ²
Fuerza	F	F = m · a	newton (N)
Trabajo	T	T = F · e	Julio (J)
Potencia	P	P = T/t	Vatio (W)

Equivalencias entre unidades de potencia

$$1 \text{ CV} = 0,736 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CV}$$

Relación entre potencia y cilindrada

No siempre es necesario aumentar la cilindrada para conseguir una potencia mayor. Con motores de cilindradas iguales se consiguen potencias y pares diferentes.

>> Casos prácticos

Cálculo de la potencia de un motor

•• Calcula la potencia de un motor si a 4 000 rpm desarrolla un par motor de 25 kgm.

Expresa el resultado en vatios, kilovatios y caballos de vapor.

Solución •• Los datos aportados por el enunciado son los siguientes:

$$n = 4 \text{ 000 rpm}$$

$$M = 25 \text{ kgm} = 25 \text{ kg} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \cdot 1 \text{ m} = 245 \text{ Nm}$$

Se trata de calcularla potencia P. Como la velocidad angular viene dada en rpm, tienes que dividir por la constante 9,55 para obtener el resultado en vatios.

$$P = \frac{M \cdot n}{9,55}$$

$$P = \frac{245 \text{ Nm} \cdot 4\,000 \text{ rpm}}{9,55} = 102\,617,8 \text{ W}$$

El resultado en kilowatios es:

$$P = 102\,617,8 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1\,000} = 102,617 \text{ kW}$$

Por último se multiplica por 1,36 para obtener la potencia en caballos de vapor.

$$P = 102,617 \text{ kW} \cdot \frac{1,36 \text{ CV}}{1 \text{ kW}} = 139,56 \text{ CV}$$

>> Casos prácticos

Cálculo de la potencia de un motor

•• Calcula la potencia de un motor trabajando a 4 000 rpm y un par de 200 Nm.

Solución •• Los datos aportados por el enunciado son los siguientes:

$n = 4\,000 \text{ rpm}$; $M = 200 \text{ Nm}$

Se trata de calcular P.

$$P = M \times n$$

$$P = 200 \text{ Nm} \cdot 4\,000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} = 83 \text{ kW}$$

Sabiendo que 1 CV equivale a 736 W o 0,736 kW, se tiene que:

$$P = 83 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ CV}}{0,736 \text{ kW}} = 112,77 \text{ CV}$$

1.5 > Consumo específico

El consumo específico de combustible es la cantidad de combustible consumida por unidad de potencia generada y tiempo de funcionamiento. Se mide en g/kWh.

El consumo específico suele oscilar entre los valores siguientes:

- En motores de gasolina: de 220 g/kWh a 340 g/kWh.
- En motores diésel: de 150 g/kWh a 250 g/kWh.

>> Casos prácticos

Equivalencia entre unidades del consumo específico

•• Un motor tiene un consumo específico de 220 g/CVh a 2 000 rpm. ¿Cuál es el consumo en g/kWh?

Solución •• Para resolver el caso es necesario hacer un cambio de unidades para el consumo específico:

$$220 \frac{\text{g}}{\text{CVh}} \cdot \frac{1 \text{ CV}}{0,736 \text{ kW}} = 298,91 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$$

1.6 > Rendimiento

El rendimiento de un motor es el resultado de dividir la cantidad de calor aprovechada por el motor entre la generada por el mismo.

Podemos hablar de dos tipos de rendimiento: térmico y volumétrico.

Rendimiento térmico

Durante la combustión de la mezcla se genera una cantidad de calor. Parte de este calor se pierde a través del circuito de refrigeración, y otra parte importante, se pierde por los conductos del escape.

El calor útil es el calor generado menos el calor perdido.

$$Q_u = Q_t - Q_p, \quad \text{donde } Q_t: \text{ calor total generado}$$

$$Q_u: \text{ calor útil aprovechado}$$

$$Q_p: \text{ calor perdido}$$

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_t}, \quad \text{donde } \eta: \text{ rendimiento}$$

El rendimiento térmico medio en los motores actuales suele oscilar entre valores de un 30 a un 40% (figura 6.5).

Rendimiento volumétrico

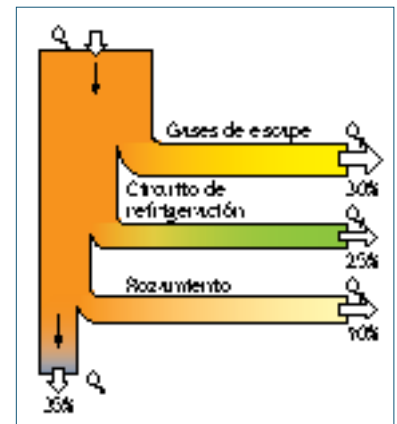
En teoría, la cantidad de fluido que entra en el cilindro debería ser igual al volumen teórico de los cilindros. Esto no ocurre en la mayoría de los casos, debido a:

- Las revoluciones no son constantes, con lo cual los tiempos de llenado para cada régimen son diferentes.
- La densidad de la mezcla depende de la temperatura y la humedad relativa.
- La válvula de admisión necesita un tiempo para abrirse.
- La válvula de escape necesita un tiempo para cerrarse, por lo que no todos los gases quemados salen al exterior.
- Los colectores de admisión tienen diferentes formas.

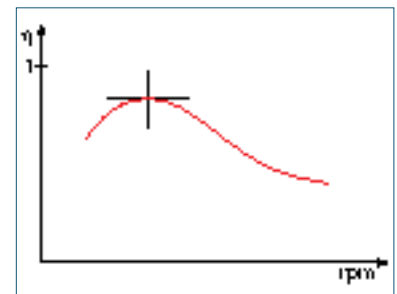
El rendimiento volumétrico no suele ser superior al 90% en motores atmosféricos, aunque puede aumentar en motores sobrealimentados.

Rendimiento en tanto por ciento

El rendimiento es un número menor o igual a uno. Normalmente el resultado se mide en porcentajes. Para ello el resultado se multiplica por 100 y se le añade el símbolo %.



6.5. Pérdidas térmicas.



6.6. Curva de rendimiento volumétrico.

>> Actividades propuestas

1•• Un motor consume una masa de combustible capaz de generar una cantidad de calor igual a 800 000 kJ. El trabajo aprovechado es igual a 260 000 kJ. Calcula:

- Cantidad de calor perdida.
- Rendimiento térmico en tanto por uno y en tanto por cien.

Par motor máximo

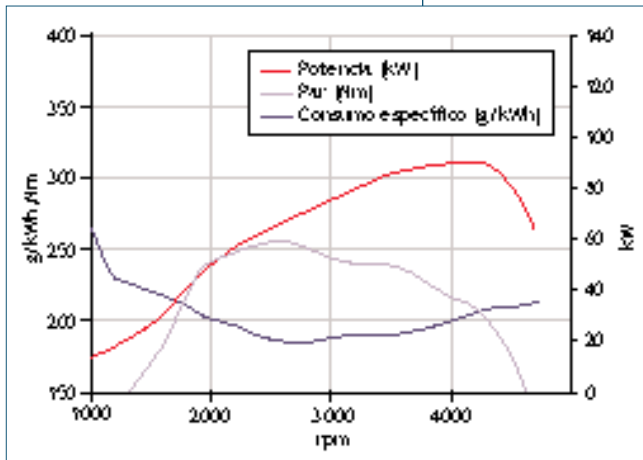
El par motor que aparece en las características técnicas de los vehículos está referido al par máximo y se consigue a un número de revoluciones, siendo distinto para cada régimen.

1.7 > Curvas características

Las curvas características indican cómo varían las magnitudes físicas en función de las revoluciones del motor. Para representarlas se utilizan diagramas en los que se especifican las revoluciones en el eje de abscisas, y los diferentes parámetros, con sus unidades, en el eje de ordenadas (figura 6.7).

En este apartado se explican tres curvas características:

- Curva de par motor.
- Curva de potencia.
- Curva de consumo específico.



6.7. Curvas características.

Curva de par motor

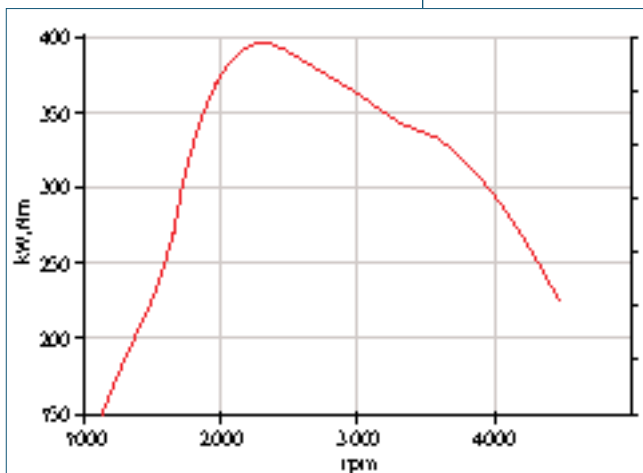
El valor del par motor no es constante ya que, a pesar de que el radio de la muñequilla del cigüeñal sea siempre el mismo, la fuerza que recibe el cigüeñal del pistón a través de la biela varía porque la presión que se genera en la cámara de compresión cambia por una serie de factores.

En la figura 6.8 podemos apreciar cómo aumenta el par motor hasta llegar a 2200 revoluciones, y a partir de aquí empieza a descender.

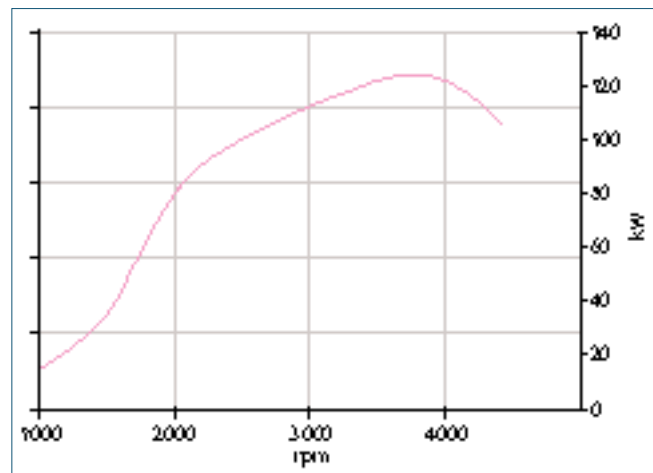
Curva de potencia

La potencia es directamente proporcional al par y al número de revoluciones. El par aumenta con las revoluciones hasta un punto; por lo tanto, a medida que aumentan las revoluciones y el par, la potencia sube rápidamente.

A partir de que el par empieza a disminuir, la potencia sigue subiendo, aunque más lentamente, hasta que la proporción del aumento de revoluciones es menor que la disminución del par. Este es el punto de máxima potencia. El caso particular que describe la figura 6.9, la máxima potencia se consigue a 32900 revoluciones por minuto.



6.8. Curva de par motor.



6.9. Curva de potencia.

La potencia y el par motor están afectados directamente por la **presión media efectiva**. Siendo esta un parámetro fundamental para valorar las prestaciones del motor. De hecho, si se multiplica por el área del pistón, se obtiene la fuerza media que cada pistón desarrolla en la manivela del cigüeñal.

$$P = \frac{F}{S}, \text{ de donde } F = P \cdot S = p_{me} \cdot S$$

donde P: presión

F: fuerza

S: superficie

pme: presión media efectiva en N/m²

La presión media efectiva se calcula hallando la media de las presiones en cada ciclo de trabajo. La presión media efectiva está más cerca de la presión mínima que de la máxima, ya que el tiempo que se mantiene esta última es muy inferior (figura 6.10).

Curva de consumo específico

Como se puede ver en la figura 6.11 el consumo específico en principio va disminuyendo con las revoluciones hasta un punto próximo al máximo par. A partir de ahí, el consumo específico aumenta a medida que se incrementan las revoluciones.

1.8 > Elasticidad

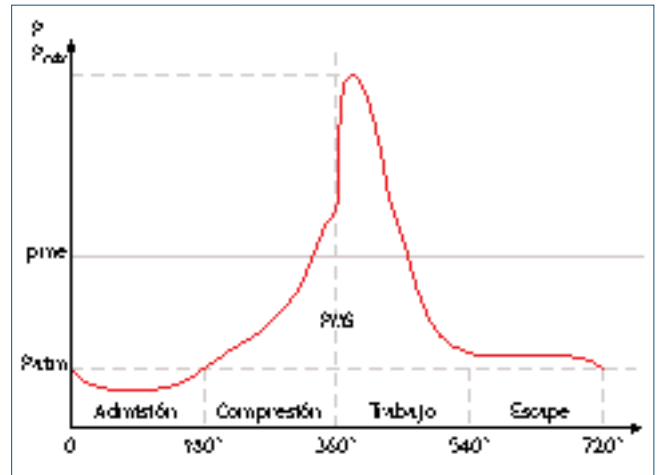
La elasticidad de un motor es la capacidad de respuesta de este ante las diferentes condiciones de funcionamiento.

Por ejemplo, si se circula por un terreno que tiene una superficie plana y de repente se toma una pendiente, dependiendo del tipo de motor será necesario o no reducir de marcha. Cuanto mayor sea la elasticidad del motor mayor serán las posibilidades del vehículo de superar la pendiente sin reducir de marcha.

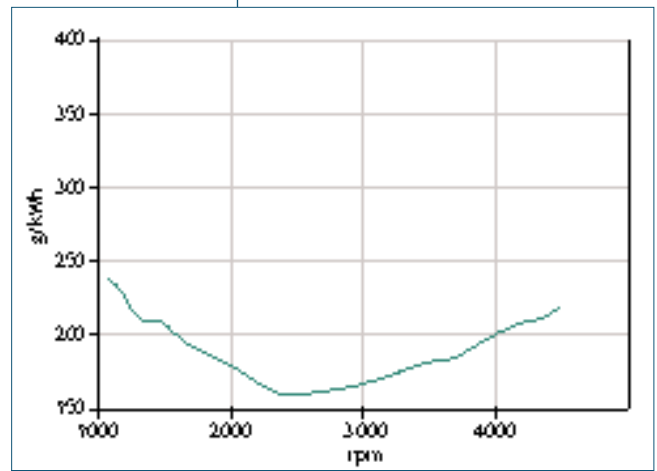
El coeficiente de elasticidad (η_E) es un número que relaciona el máximo par con el par desarrollado a la máxima potencia y las revoluciones a las que se consigue la máxima potencia respecto al máximo par.

Tipos de elasticidad		
Elasticidad respecto al par	Elasticidad respecto al régimen de giro	Coefficiente de elasticidad total
$\eta_M = \frac{M_{max}}{M_{P_{max}}}$	$\eta_n = \frac{n_{max P}}{n_{max M}}$	$\eta_E = \eta_M \cdot \eta_n$

Cuanto mayor es el coeficiente de elasticidad mayor es la capacidad de respuesta del motor ante los diferentes cambios de carga.



6.10. Presión media efectiva.



6.11. Curva de consumo específico.

Unidades del coeficiente de elasticidad

El coeficiente de elasticidad, al igual que la relación de compresión, no tiene unidades. Se trata de un número. La elasticidad media de un motor oscila entre 2 y 3.

>> Casos prácticos

Cálculo del coeficiente de elasticidad

- Calcula el coeficiente de elasticidad correspondiente a un motor que tiene las siguientes características:
 - Potencia: 103 kW a 4 000 rpm.
 - Par motor: 347 Nm a 2 000 rpm.

Solución •• Los datos aportados por el enunciado son los siguientes:

103 kW = 103 000 W, por tanto, la potencia es 103 000 W a 4 000 rpm.

$M = 347 \text{ Nm}$ a 2 000 rpm

Se trata de calcular η_E .

Calcula primero la elasticidad respecto al par.

$$\eta_M = \frac{M_{\max}}{M_{P \max}}$$

Para ello tienes que calcular el par que le corresponde a la máxima potencia:

$$P = \frac{M \cdot n}{9,55} \Rightarrow M = \frac{P \cdot 9,55}{n}$$

$$M = \frac{103\,000 \text{ W} \cdot 9,55}{4\,000 \text{ rpm}} = 245,91 \text{ Nm}$$

Ahora ya puedes calcular a los coeficientes de elasticidad:

$$\eta_M = \frac{M_{\max}}{M_{P \max}} \quad \eta_n = \frac{n_{\max P}}{n_{\max M}}$$

$$\eta_M = \frac{347 \text{ Nm}}{245,91 \text{ Nm}} = 1,43 \quad \eta_n = \frac{4\,000 \text{ rpm}}{2\,000 \text{ rpm}} = 2$$

$$\eta_E = \eta_M \cdot \eta_n$$

$$\eta_E = 1,43 \cdot 2 = 2,86$$

>> Actividades propuestas

2•• Calcula el coeficiente de elasticidad de un motor que genera una potencia de 110 CV a 3 900 rpm y desarrolla un par de 25 kgf m a 1 800 rpm.

3•• ¿Cuál de los siguientes motores tiene mayor elasticidad?

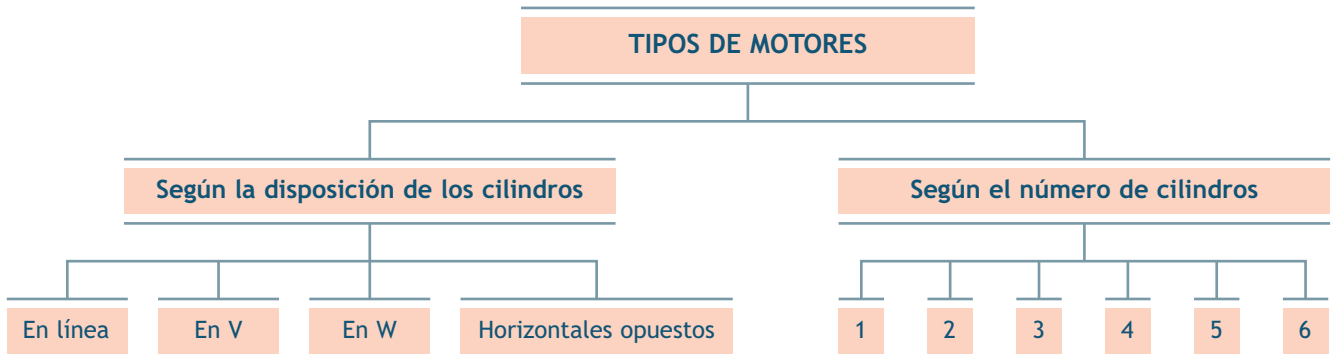
- A: 126 CV a 3 600 rpm y 300 Nm a 2 000 rpm
- B: 120 CV a 4 000 rpm y 270 Nm a 2 000 rpm

4•• En motores otto y diésel de la misma cilindrada, ¿a cuál le corresponde mayor par motor? ¿Y mayor potencia? Razona la respuesta.

2 >> Disposición y número de cilindros

La forma de colocar los cilindros en el bloque motor varía en función del espacio disponible. Cada vez existe menos hueco en la carrocería para colocar el motor, ya que la altura es menor para buscar formas aerodinámicas.

Dependiendo de la disposición y del número de cilindros se puede hacer la siguiente clasificación de los motores:



2.1 > Clasificación por la disposición de los cilindros

Motores de cilindros en línea

Estos motores son los más sencillos de fabricar y, por tanto, son más baratos que otros tipos de motores. Sus principales inconvenientes son:

- No pueden ser colocados verticalmente porque la carrocería no sería suficientemente aerodinámica.
- No son aconsejables en motores de más de cuatro cilindros pues el cigüeñal tendría una longitud demasiado grande y no habría suficiente espacio para colocar el motor transversal.

Este último inconveniente se ha solucionado inclinando el motor ligeramente.

Motores de cilindros en V

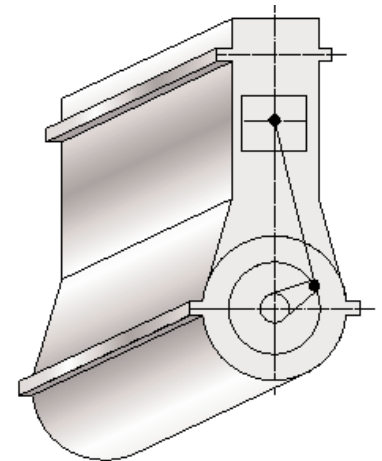
Esta disposición es utilizada en motores con más de cuatro cilindros. La mitad de los cilindros están colocados en paralelo con la otra mitad formando una V. De esta forma, no es necesario que el cigüeñal sea tan largo y es posible colocar el motor dentro de la carrocería de forma transversal.

Motores de cilindros en W

Esta disposición de los cilindros es utilizada en motores con un número mayor de cilindros. En los motores con cilindros en W, los ejes de los cilindros están en tres semiplanos que se cortan en una recta que coincide, o es paralela, al eje del cigüeñal.

Motores de cilindros horizontales opuestos

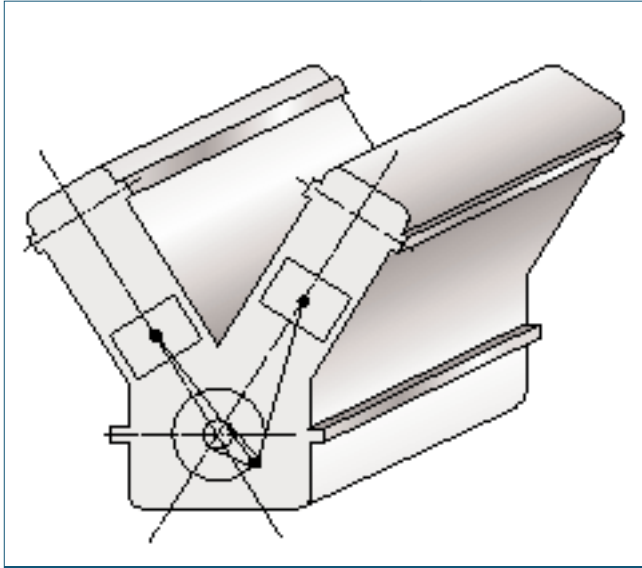
La disposición de los cilindros en este tipo de motores es horizontal. De esta manera se puede reducir la altura del motor.



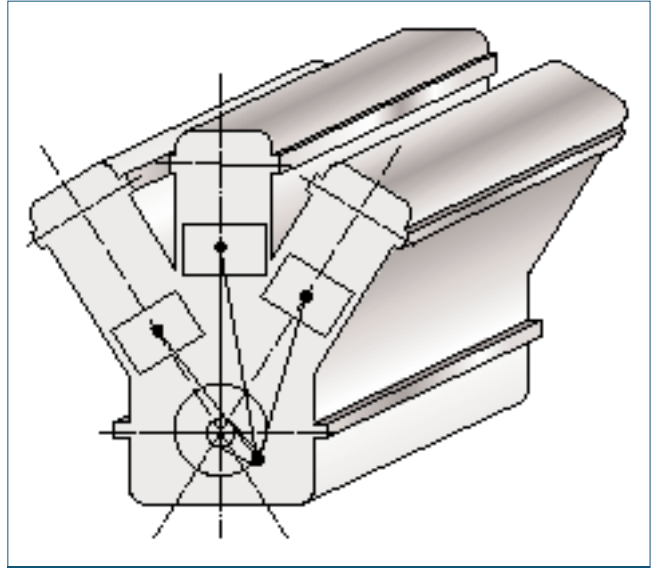
6.12. Motor de cilindros en línea.

PMS en motores de cilindros horizontales opuestos

En estos motores los pistones alcanzan el punto muerto superior cuando llevan la misma dirección pero sentido contrario.



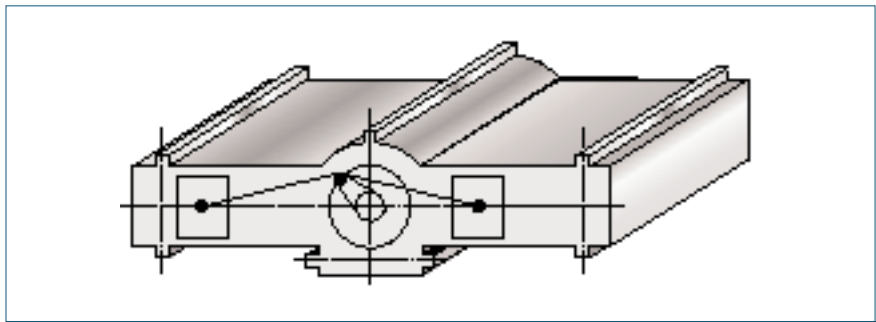
6.13. Motor de cilindros en V.



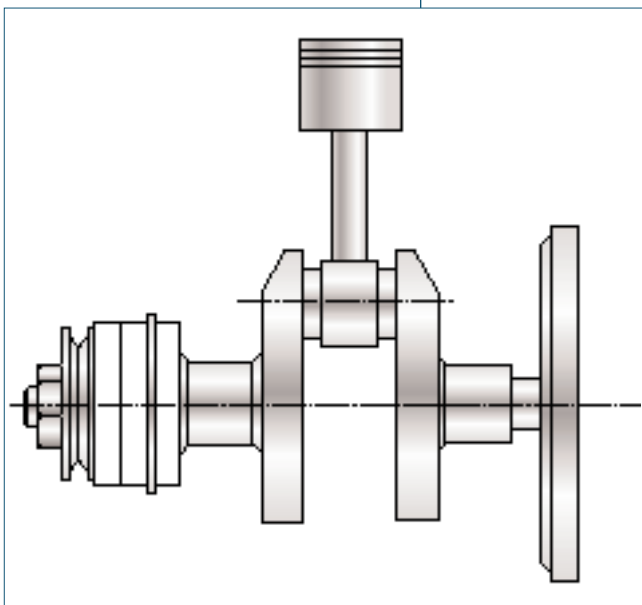
6.14. Motores con cilindros en W.

Orden de encendido

El orden de encendido indica la secuencia según la cual se va produciendo un determinado tiempo en los diferentes cilindros. Los cuatro tiempos llevan el mismo orden.



6.15. Motor de cilindros horizontales opuestos.



6.16. Motor de un cilindro.

2.2 > Clasificación por el número de cilindros

Otra posible clasificación de los motores es a partir del número de cilindros. De esta forma los motores pueden ser de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e incluso más cilindros, siendo los citados anteriormente los más utilizados en el mundo del automóvil.

Para entender el funcionamiento de estos motores es necesario saber dos datos fundamentales:

- La numeración de los cilindros.
- El orden de encendido.

Motor de 1 cilindro

En este tipo de motores el funcionamiento a bajas revoluciones es bastante irregular ya que el tiempo de trabajo se produce una vez cada dos vueltas.

Cuando el motor cuenta con un solo cilindro, no hace falta numerarlo.

Motor de 2 cilindros

En estos motores, los cilindros están normalmente colocados en línea, aunque también se pueden encontrar opuestos horizontalmente.

Con cada vuelta del cigüeñal se produce trabajo, es decir, cada 360° o resultado de dividir los 720° correspondientes a las dos vueltas que realiza el cigüeñal entre los dos cilindros.

En el siguiente cuadro se representan los tiempos de cada cilindro, respecto al punto muerto del cigüeñal.

	0°	180°	360°	540°	720°
1	A	C	T	E	
2	T	E	A	C	

El orden de encendido de los cilindros en estos motores es 1 - 2. Los pistones llegan al punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI) al mismo tiempo. Cuando uno se encuentra en el tiempo de compresión, el otro está en el tiempo de escape; y cuando uno se encuentra en el tiempo de admisión, el otro está en el tiempo de trabajo.

Motor de 3 cilindros

Normalmente en estos motores los cilindros van colocados en línea. El cilindro número uno suele coincidir con la parte de la distribución.

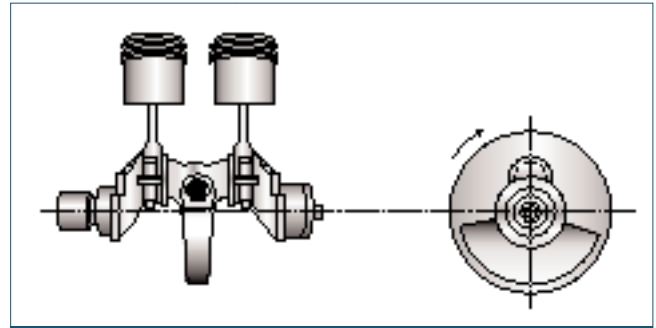
En este caso, la muñequilla del cigüeñal entre cilindros tiene un desfase de 120° o, lo que es lo mismo, el intervalo de encendido es de 240°.

Se produce un tiempo de trabajo cada 240°, de esta forma cada 60° de giro deja de producirse uno de los tiempos, ya que disponemos de menos cilindros que tiempos.

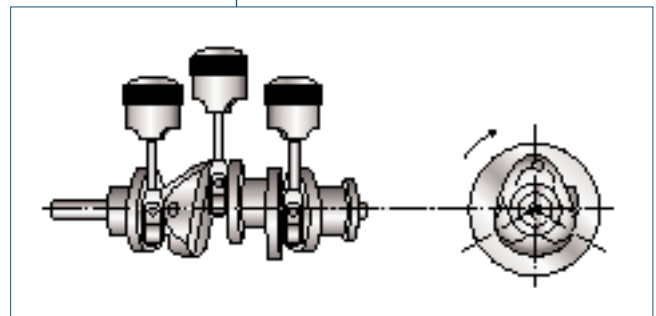
En el siguientes cuadro se muestra cómo se producen los tiempos en cada cilindro:

	0°	180°	360°	540°	720°
1	T	E	A	C	
2	E	A	C	T	E
3	A	C	T	E	A

El orden de encendido de los cilindros en estos motores es: 1 - 3 - 2



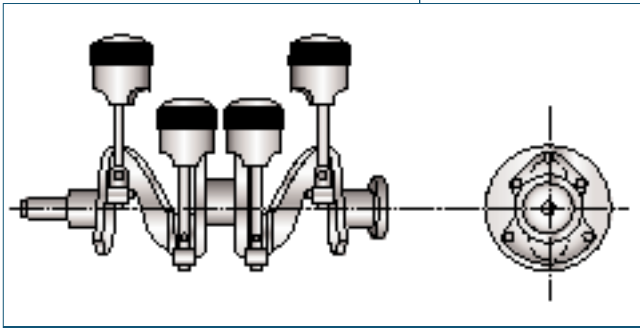
6.17. Motor de 2 cilindros.



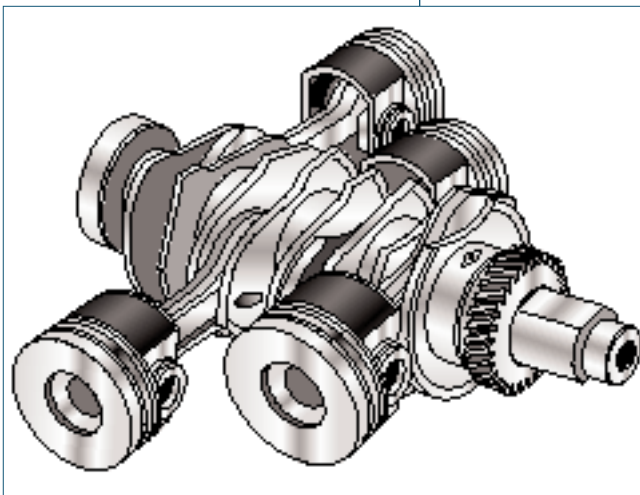
6.18. Motor de 3 cilindros en línea.

>> Actividades propuestas

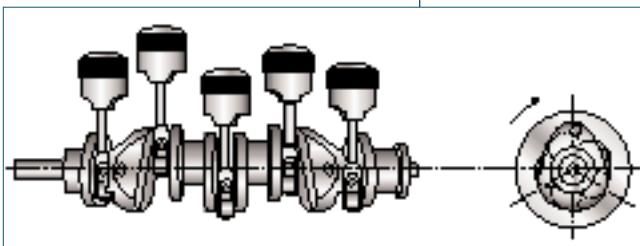
5•• Representa en un cuadro la secuencia de tiempos correspondiente a un motor de 3 cilindros con orden de encendido 1-2-3, si el cilindro número 2 hace el tiempo de escape en la primera media vuelta.



6.19. Motor de 4 cilindros en línea.



6.20. Motor de 4 cilindros horizontales opuestos.



6.21. Motor de 5 cilindros.

Motor de 4 cilindros

- **Cilindros en línea.** El primer cilindro normalmente corresponde al situado en la parte de la distribución, aunque en algunos modelos se empiezan a contar desde el volante.

El orden de encendido puede ser:

- ?1 - 3 - 4 - 2
- ?1 - 2 - 4 - 3

Se produce un tiempo de trabajo cada 180° con lo cual se están produciendo todos los tiempos en cada momento en diferentes cilindros.

Orden de encendido: 1 - 3 - 4 - 2

	0°	180°	360°	540°	720°
1	T	E	A	C	
2	E	A	C	T	
3	C	T	E	A	
4	A	C	T	E	

- **Cilindros horizontalmente opuestos.** El primer y tercer cilindro alcanzan el PMS a la vez, visto desde la distribución a la izquierda quedan situados el primero y el segundo. El orden de encendido más utilizado en este tipo de motores es: 1 - 4 - 3 - 2

	0°	180°	360°	540°	720°
1	T	E	A	C	
2	E	A	C	T	
3	A	C	T	E	
4	C	T	E	A	

Motor de 5 cilindros

En los motores de 5 cilindros los pistones no se desplazan dos a dos. Las muñequillas del cigüeñal están desfasadas 144°, resultado de dividir 720° entre 5. Cada 36° de giro del cigüeñal se está repitiendo un tiempo en dos cilindros.

El orden de encendido más usual es: 1 - 2 - 4 - 5 - 3

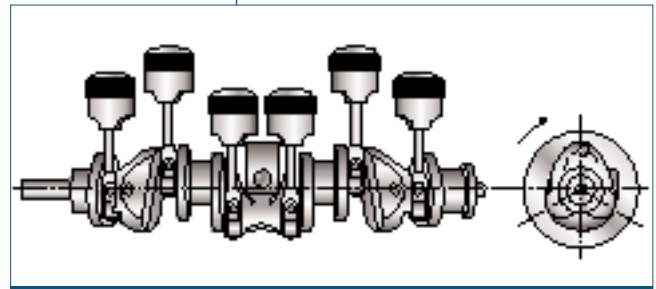
	0°	180°	360°	540°	720°
1	T	E	A	C	
2	C	T	E	A	C
3	T	E	A	C	T
4	A	C	T	E	A
5	E	A	C	T	E

Motor de 6 cilindros

El desfase de la muñequilla del cigüeñal entre cilindros en estos motores es de 120° según el orden de encendido, con lo cual los pistones alcanzan los puntos muertos dos a dos, repitiéndose tiempos cada 60° en 2 cilindros diferentes.

En los motores de 6 cilindros estos pueden ir colocados en línea o en V:

- Cilindros en línea. El cilindro número uno suele coincidir con la parte de la distribución. El orden de encendido más habitual es: 1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4



6.22. Motor de 6 cilindros en línea.

	0°	180°	360°	540°	720°
1	T	E	A	C	
2	E	A	C	T	E
3	A	C	T	E	A
4	T	E	A	C	T
5	C	T	E	A	C
6	A	C	T	E	

- Cilindros en V. Los cilindros van numerados desde la distribución primero la fila de la izquierda del 1 al 3, y después la de la derecha del 4 al 6. El orden de encendido suele ser: 1 - 3 - 6 - 5 - 4 - 2

>> Casos prácticos

Ciclo completo para un motor de 6 cilindros en V

•• ¿Qué tiempo se realiza en cada momento, si el orden de encendido de un motor de seis cilindros es 1 - 3 - 6 - 5 - 4 - 2, y el cilindro número 3 hace el tiempo de compresión en la segunda media vuelta del cigüeñal o entre 180 y 360°?

Solución •• Al ser un motor de 6 cilindros, el mismo tiempo comenzará en un cilindro 120° después, según el orden de encendido. Para ello se divide cada celda en 3 partes y a cada parte le corresponderán 60° de giro del cigüeñal.

	0°	180°	360°	540°	720°
1					
2					
3		C			
4					
5					
6					

La zona sombreada corresponde al dato de compresión, teniendo en cuenta el orden de encendido y el número de cilindros, el próximo cilindro que comenzará compresión será el número 6, 120° después; y el resto de cilindros lo hará según el orden de encendido.

	0°	180°	360°	540°	720°
1					
2					
3					
4					
5					
6					

El resto de la tabla se rellena según el orden en el cual se producen los tiempos.

	0°	180°	360°	540°	720°
1					
2					
3					
4					
5					
6					

El resultado final es:

	0°	180°	360°	540°	720°
1	A	C	T	E	A
2	C	T	E	A	C
3	A	C	T	E	
4	T	E	A	C	
5	T	E	A	C	T
6	E	A	C	T	E

Como se puede observar en la tabla, cada 60° de giro del cigüeñal, se repiten dos tiempos.

>> Actividades propuestas

6•• ¿Qué tiempos se producen en el resto de los cilindros en los siguientes casos?

- Un motor de 4 cilindros en línea y orden de encendido 1 - 2 - 4 - 3, si el número 1 está en compresión.
- Un motor de 4 cilindros horizontalmente opuestos y orden de encendido 1 - 4 - 3 - 2, si el número 3 hace admisión.

>> Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN .:

- 1•• La temperatura ambiente en enero a las 7 de la mañana es de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el mes de julio a la misma hora es de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. ¿El rendimiento térmico de un motor será el mismo en los dos casos?
- 2•• De los siguientes factores, indica cómo influye cada uno sobre el rendimiento volumétrico:
 - Temperatura exterior.
 - Presión atmosférica.
 - Densidad de la mezcla.
 - Empleo de turbos.
- 3•• ¿Desarrolla mucha potencia o mucho par el ganador al sprint en una carrera ciclista? ¿Quién es el ganador en las etapas de montaña: el que desarrolla mucha potencia o mucho par? Razona las respuestas.
- 4•• ¿Qué relación existe entre la potencia y el consumo específico del motor?
- 5•• Dos vehículos consiguen alcanzar la misma potencia a 4 000 y 6 000 rpm. El primero consigue un par de 330 Nm a 2 000 rpm y el segundo 220 Nm a 4 000 rpm. ¿Cuál de los dos motores es más elástico?

.: APLICACIÓN .:

- 1•• Después de una avería fue necesario rectificar un motor y se le hicieron las siguientes reparaciones:
 - Planificar la culata rebajando esta una medida de 0,25 mm.
 - Después de comprobar el ovalamiento de los cilindros fue necesario rectificarlos haciendo el diámetro mayor en una medida de 0,20 mm y colocando los correspondientes pistones de sobre medida.

¿Cómo influye esto sobre la cilindrada? ¿El volumen de la cámara de compresión aumenta o disminuye? ¿Cambiará el valor de la relación de compresión? En caso afirmativo indica por qué.

Si por un error colocamos una junta de culata de un espesor mayor al original, ¿como influiría esto sobre la relación de compresión?
- 2•• Un motor tiene las siguientes características: 4 cilindros, diámetro 81 mm, carrera 95,5 mm y volumen de la cámara de compresión $27,88\text{ cm}^3$. Con estos datos, calcula:
 - a) Cilindrada unitaria.
 - b) Cilindrada total.
 - c) Relación de compresión.
 - d) Potencia en caballos de vapor y kilovatios a 2 000 rpm, si el par a este régimen es 23,5 kpm.
- 3•• Un vehículo dispone de un motor de 4 cilindros, con un diámetro de 82 mm y una carrera de 85,3 mm. Calcula la cilindrada unitaria y total, sabiendo que la máxima potencia son 100 CV a 5 500 rpm, y el máximo par es 23,5 kpm a 2 000 rpm. Calcula también el coeficiente de elasticidad.
- 4•• Representa en un cuadro los diferentes tiempos que corresponden a cada uno de los cilindros si disponemos de los siguientes datos:
 - Motor de 3 cilindros en línea y orden de encendido 1 - 3 - 2, si el número 2 está en escape en la primera media vuelta.
 - Motor de 6 cilindros en V y orden de encendido 1 - 3 - 6 - 5 - 4 - 2, si el número 3 hace admisión en la segunda media vuelta.

* Caso final

Análisis de las características de un motor de cuatro tiempos

•• Se dispone de un motor de 4 tiempos que posee las siguientes características:

- 4 cilindros en línea.
- Diámetro: 90 mm.
- Carrera: 80 mm.
- La relación de compresión es de 11/1.
- El cilindro número 1 está situado al lado correspondiente a la distribución.

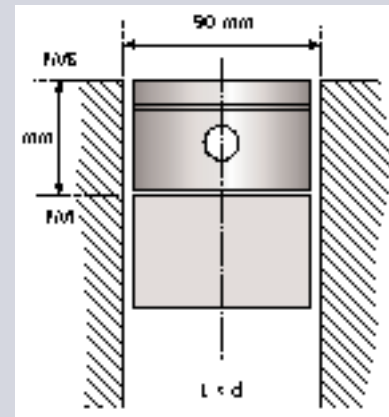
- a) ¿Qué tipo de motor es respecto a la relación de diámetro y carrera? ¿Qué tipo de combustible utilizará?
- b) ¿Cuál es el sentido de giro del cigüeñal? ¿Y el orden de encendido? ¿Sería posible otro orden de encendido?
- c) Sabiendo que el cilindro número 1 hace el tiempo de admisión, ¿qué tiempos se producen en el resto de los cilindros en cada momento?
- d) Si fuera necesario rectificar los cilindros aumentando los cilindros y cambiando los pistones por otros de sobremedida, ¿cómo afectaría esto a la relación de compresión, a la potencia y al par?

Solución ••

a) En cuanto al tipo de motor respecto a la relación carrera diámetro, se clasifica dentro de los motores supercuadrados por ser el diámetro mayor que la carrera.

A la vez hay que considerar que la relación de compresión es baja y tiene una carrera corta con relación al diámetro correspondiendo estos datos a un motor que alcanza gran número de revoluciones, siendo típico de los motores otto, por lo cual se entiende que es un motor de gasolina.

b) Para localizar el sentido de giro del cigüeñal debes primero identificar las válvulas de admisión y escape. Fíjate después en las válvulas que le corresponden a uno de los cilindros, por ejemplo al número 1, y se tiene que cumplir que una vez se observe que las dos válvulas se encuentren cerradas al girar el volante en el sentido correcto se abra primero la válvula de escape.



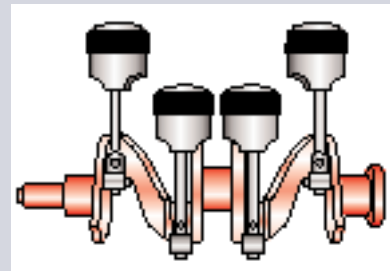
6.24. Relación carrera diámetro.



6.25. Motor de gasolina visto desde la parte superior.

Una vez localizado el sentido de giro, para conocer el orden de encendido tienes que fijarte en un tipo de válvulas en todos los cilindros, por ejemplo, en las válvulas de admisión, y gira dos vueltas el cigüeñal observando en qué orden se produce la apertura de las válvulas. Normalmente el orden de encendido es 1 - 3 - 4 - 2.

Al ser un motor de 4 cilindros en línea, otro posible orden de encendido es 1 - 2 - 4 - 3, ya que entre el cilindro 1 y 4 debe de haber un desfase de 360° de giro cigüeñal para realizar el mismo tiempo. Lo mismo ocurre entre los cilindros 3 y 2 (figura 6.26).



6.26. Disposición de los pistones en el motor.

c) Para saber que tiempo se produce en los diferentes cilindros en cada momento se realiza el cuadro correspondiente a un ciclo completo:

	0°	180°	360°	540°	720°
1	T	E	A	C	
2	E	A	C	T	
3	C	T	E	A	
4	A	C	T	E	

Según el cuadro en la tercera media vuelta, entre 360 y 540°, en el cilindro número 1 se produce el tiempo de admisión, dato del enunciado, en los demás cilindros se producirán los tiempos siguientes:

- El tiempo de compresión en el cilindro 2.
- El tiempo de escape en el cilindro 3.
- El tiempo de trabajo en el cilindro 4.

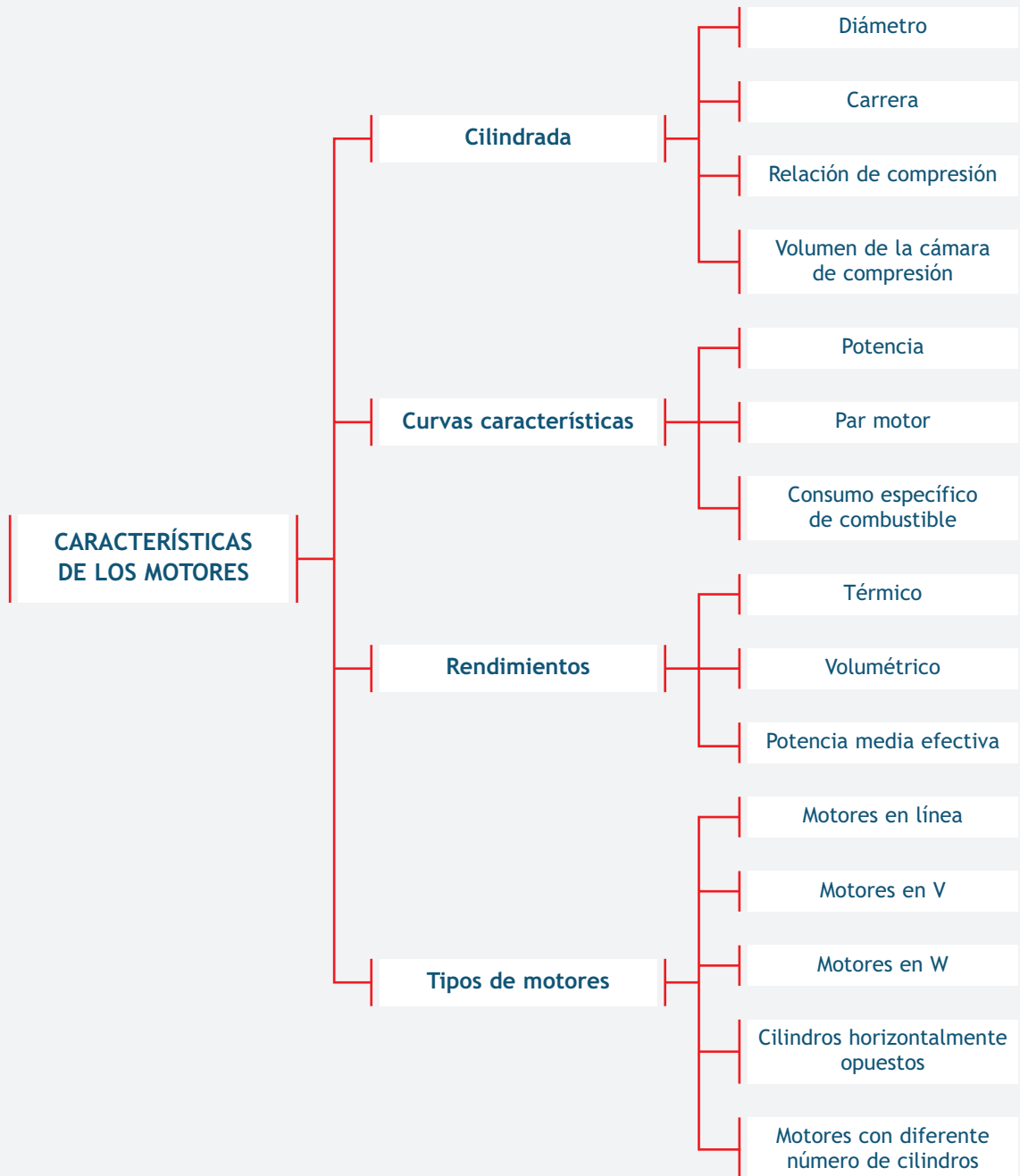
d) La relación de compresión, la potencia y el par son mayores en el caso de aumentar los cilindros y cambiar los pistones, por las siguientes causas:

- La relación de compresión es directamente proporcional al volumen del cilindro y este a la vez lo es al diámetro, el cual aumenta cuando se produce el rectificado.

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}, \quad V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L$$

- La potencia depende de la fuerza y de la velocidad: $P = F \times v$, siendo directamente proporcional a ambas. La fuerza será mayor pues al rectificar aumenta la presión y también la superficie, y ambos factores son directamente proporcionales a la fuerza y por tanto a la potencia.
- El par está influenciado por la fuerza y el radio de giro: $M = F \times r$. El radio no varía pero si lo hace la fuerza por las mismas causas ya citadas, con lo cual el par también es mayor.

● Ideas clave



EVOLUCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

La evolución de las curvas de par motor y potencia en los últimos años ha sido espectacular, tanto en motores de gasolina, como en motores diésel.

Hasta los años 80, los motores de gasolina eran los más utilizados en turismos, y para lograr potencia se aumentaba la cilindrada, lo que traía consigo un incremento del consumo. Por aquellos años, el consumo de los motores diésel era bajo, pero desarrollaban poca potencia: eran motores lentos y ruidosos. La subida del combustible hizo necesario encontrar fórmulas alternativas para conseguir mayor potencia sin aumentar el consumo, o intentar mantener la potencia disminuyendo el consumo. Esto se consiguió en los motores de gasolina: en un principio, gracias a los encendidos electrónicos, y posteriormente, mediante los sistemas de inyección electrónica. De esta forma se lograron potencias de unos 90 CV con motores de 1 500 cm³, algo impensable unos años antes.

Los motores de gasolina han seguido mejorando con el tiempo pero donde realmente se ha producido un avance importante ha sido en los motores diésel. En su día, estos motores eran lentos, ruidosos y de difícil arranque en zonas frías. La potencia que podía llegar a entregar un motor de 1 900 cm³ en los años 90 estaba en torno a los 60 ó 70 CV. Hoy en día, gracias a los sistemas de sobrealimentación, el sistema de control electrónico de la inyección y los nuevos sistemas de distribución, existen vehículos que, con motores de 1 900 cm³, consi-

guen potencias de 150 CV y un par motor de 330 Nm, con un consumo de combustible muy aceptable.

Si comparamos (figura 6.23) el consumo específico (g/kWh) en dos motores con características distintas: uno de 110 CV y otro de 150 CV que posean la misma cilindrada, entenderemos la evolución de las curvas características a lo largo de los últimos años.

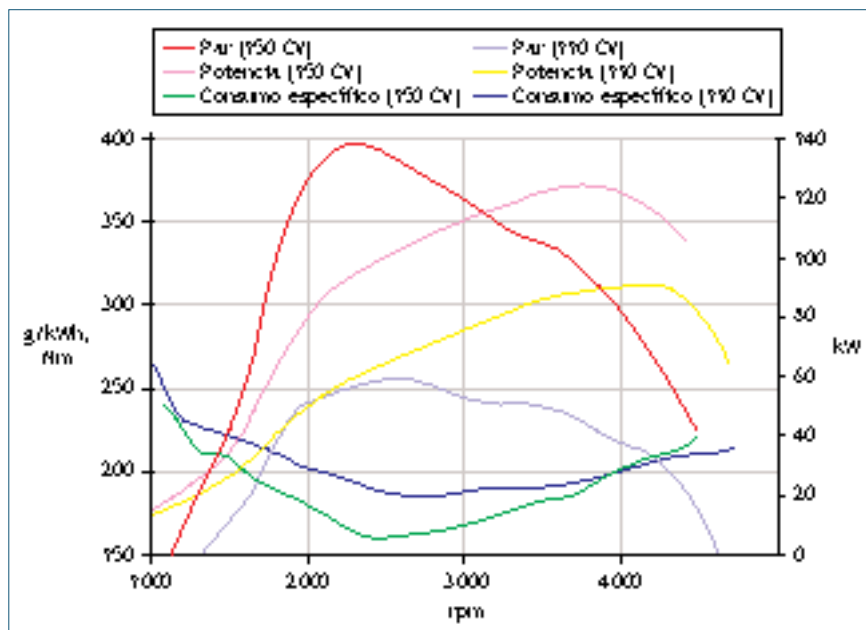
La diferencia en cuanto a par y potencia es notable, y las presiones de alimentación son sensiblemente superiores en el 150, por lo que a priori se supone mejor rendimiento en este último... pero ¿cuánto?

A parte del extraordinario par que posee el de 150, lo que más destaca es la simetría de las curvas de consumo específico frente a la de par, y su ligero desplazamiento en los máximos/mínimos hacia la dere-

cha. Es casi un reflejo una de otra, y lo mejor de todo es la comprobación de la eficiencia del motor 150, que supera ampliamente en economía por kW al de 110 (curvas verde y azul respectivamente).

Se puede concluir, que la zona de mejor rendimiento energético en el 110 está desde las 2 400 rpm hasta las 3 600 rpm, mientras que el 150 comienza en las 2 300 rpm y es más estrecha, terminando sobre las 3 000 rpm. Aunque siempre más bajo que el 110, el consumo específico del 150 llega a superar a partir de 4 000 rpm la cifra del 110, por lo que ahí está su punto débil. No obstante, hay que decir que ese ya es un régimen demasiado elevado para este tipo de motores, cayendo la curva de potencia con cierta pendiente a partir de ese punto.

www.arpem.com



6.23. Curva característica de dos motores con la misma cilindrada.