

## 2. Motores térmicos

### A. Introducción

Un motor térmico es una máquina cíclica que tiene como misión transformar energía térmica en energía mecánica que sea directamente utilizable para producir trabajo.

Si el motor térmico utiliza **combustible** como fuente térmica, se denomina **motor de combustión**.

Se pueden clasificar siguiendo diferentes criterios:

**Primer criterio:** Según el lugar dónde se realiza la combustión.

- Motores de combustión externa:** Son aquellos en los que la combustión tiene lugar fuera del motor. El calor desprendido es transmitido a un fluido intermedio, que produce la energía mecánica. Ejemplo: La máquina de vapor, donde el fluido intermedio es el vapor de agua y el lugar de la combustión es la caldera, que está fuera del motor.
- Motores de combustión interna:** La combustión se produce en una cámara interna del propio motor, donde se generan los gases que producen la expansión que causa el trabajo. Ejemplo: El motor de un automóvil, donde la cámara interna es cada cilindro y el fluido, el lugar de ser vapor de agua, es una mezcla de un combustible con aire, que se quema en la cámara. Existen distintos tipos de máquinas de combustión interna que se diferencian en el combustible utilizado, en las condiciones de combustión y en el número de carreras que efectúa el pistón en un ciclo completo; por otra parte, el movimiento producido puede ser **alternativo** (motores de explosión y de combustión) o **rotativo** (turbinas de explosión y de combustión).

Ventajas del motor de combustión externa frente al de combustión interna:

- El combustible es más barato (carbón)
- Los equipos son menos sofisticados y, por lo tanto, más sencillos.

Desventajas del motor de combustión externa:

- El poder calorífico del combustible es más bajo y es por esto que la temperatura que alcanza el foco caliente no es tan alta.
- Son más pesados y de mayor tamaño.
- El rendimiento del motor es más bajo
- No se aprovecha tan bien el calor

**Segundo criterio:** Según el ciclo del motor, podemos diferenciar entre los siguientes motores:

–**Motores de cuatro tiempos:** Se llaman así porque se necesitan cuatro etapas para desarrollar el proceso o ciclo completo: admisión, compresión, expansión y escape.

–**Motor de dos tiempos:** En este caso, el ciclo se lleva a cabo en dos etapas: admisión-compresión y expansión-escape. Los motores de los ciclomotores llevan este tipo de motor.

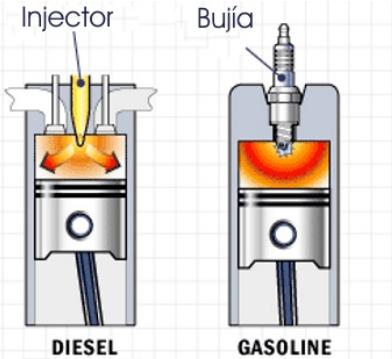
**Tercer criterio:** Según el tipo de movimiento del motor podemos tener dos grupos de motores térmicos:

–**Alternativos:** El fluido actúa sobre un pistón dotado de movimiento alternativo de subida y bajada.

–**Rotativo:** El fluido actúa sobre pistones o turbinas que giran.

Si combinamos ambos criterios tenemos:

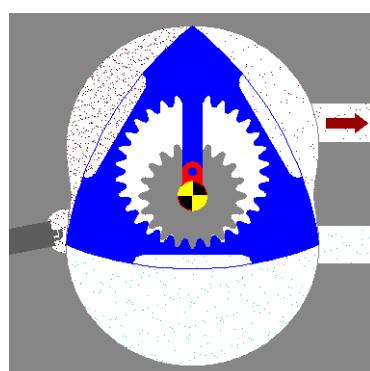
**A. Motor alternativo de combustión interna:** Es el más común entre los vehículos. Se considera en este caso que el gas de trabajo es ideal, aunque la realidad es que no es así, pues el gas que entra a la cámara de combustión (cilíndrica) es una mezcla de aire y combustible, mientras que el que sale corresponde a los gases tras la combustión de la mezcla anterior. Consta de uno o más cilindros en los que se provoca la combustión de la mezcla en cuyo interior se aloja un pistón que posee movimiento alternativo. Estos, se clasifican en dos grupos:



–Motor de explosión (MEP) o motor Otto. Motor convencional de gasolina.

–Motor de combustión (MEC) o motor Diesel. Funciona con principios diferentes al de explosión y suele funcionar con gasóleo.

**B. Motor rotativo de combustión interna:** El caso más singular es el motor Wankel. En este caso, la cámara de combustión contiene una pieza rotativa con forma triangular que gira solidariamente al rotor. Por lo tanto, no posee ni cilindro ni pistones.



Nos centraremos en el motor alternativo de combustión interna.

## B. Elementos del motor alternativo de combustión interna

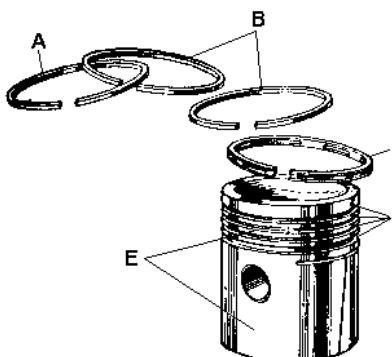


Fig. 2. Detalle de los segmentos y el pistón.

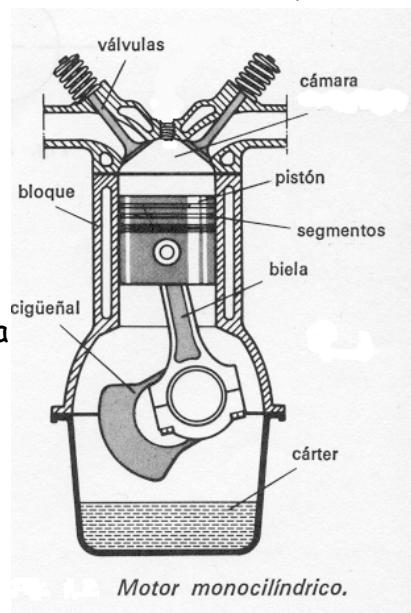
La parte estructural fundamental del motor la forman la **bancada** y el **bloque** sobre los que van montados los demás elementos del motor.

El **cilindro** es el recipiente por el cual se desliza el pistón en movimiento alternativo. El pistón tiene forma de vaso invertido y está unido a la biela mediante el **bulón**. Para conseguir el cierre hermético entre el cilindro y el pistón, éste está provisto de dos o tres **segmentos** (o aros), colocados en unas ranuras de su parte superior. La **biela**

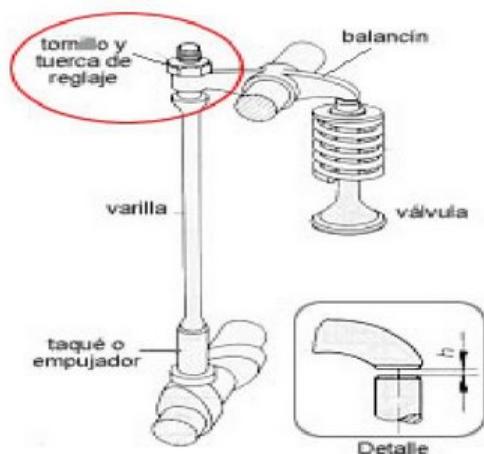
transmite el movimiento del pistón a la manivela del **cigüeñal**, el cual está soportado por cojinetes sobre la bancada, transformando el movimiento lineal en rotativo.

Sobre la parte superior del bloque va montada la **culata**, que cierra los cilindros. El espacio que queda entre el pistón y la culata es la **cámara de combustión**, el lugar donde se produce la mezcla de combustión (gasolina o gasóleo) y comburente (aire).

La entrada del fluido de trabajo (gasolina, por ejemplo) y la salida de los gases de combustión se realizan a través de las **válvulas de admisión y escape** respectivamente. Estas válvulas están situadas en la culata, directamente sobre el cilindro, y su movimiento de apertura y cierre está controlado por unos dispositivos mecánicos sincronizados.

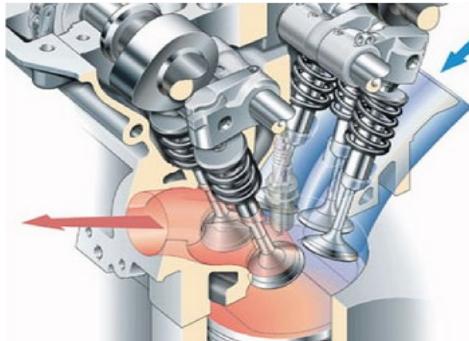


Motor monocilíndrico.



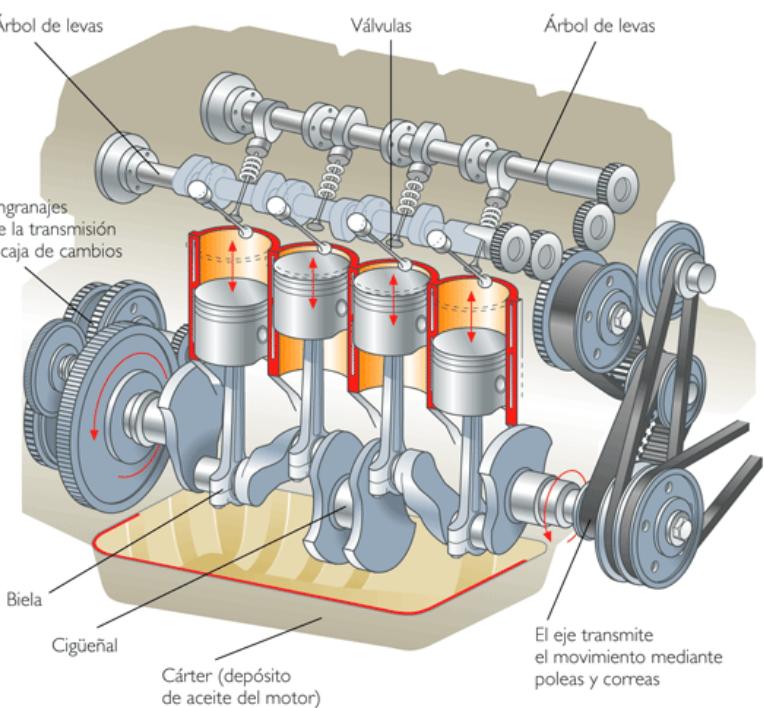
### La distribución

parte del **árbol de levas**, que es conducido por el cigüeñal mediante algún sistema de transmisión (cadena, correa o engranajes). El giro de las levas se transforma en movimiento lineal de los **taqués** o empujadores, los cuales actúan sobre el **balancín** que es el que abre la válvula. Cuando la leva ha pasado, la fuerza de un muelle hace cerrar la válvula ajustándola a su asiento.



Para más información, acude al blog "[Mecánica del automóvil](#)"

si quieras ver el funcionamiento de un motor con detalle, no te pierdas el siguiente "[vídeo](#)"



### C. Conceptos que definen un motor alternativo de combustión

En los motores de combustión interna, el calor necesario para llevar a cabo el trabajo se obtiene de la combustión, en su interior, de una mezcla de aire y combustible. El motor alternativo consta de un pistón que se mueve alternativamente dentro de un cilindro, entre dos posiciones extremas.

**1. Punto muerto superior (PMS):** Punto más alto que alcanza el pistón en su recorrido. Cuando el pistón alcanza este punto, el volumen que queda libre en el cilindro se representa como  $V_{PMS}$ , que también se llama **cámara de combustión o explosión**.

**2. Punto muerto inferior (PMI):** Punto más bajo que alcanza el pistón en su recorrido. Cuando el pistón alcanza este punto, el volumen que queda libre en el cilindro se representa como  $V_{PMI}$

Además de esto, queda por definir:

–**Carrera (L):** Distancia entre el PMS y el PMI, es decir, es el recorrido del pistón entre esos dos puntos. La cilindrada se mide en  $\text{cm}^3$

–**Régimen de giro del motor (n):** número de rpm a las que gira el motor

–**Cilindrada unitaria (V):** Volumen barrido por el pistón, es decir, la diferencia entre el volumen libre en el PMS y el PMI

$$V = V_{PMI} - V_{PMS}$$

que también se puede poner como  $V = S * L = \frac{\pi * d^2}{4} * L$

siendo

$L$  = carrera (en cm)

$d$  = diámetro o calibre del cilindro (en cm)

$V$  = cilindrada (en  $\text{cm}^3$ )

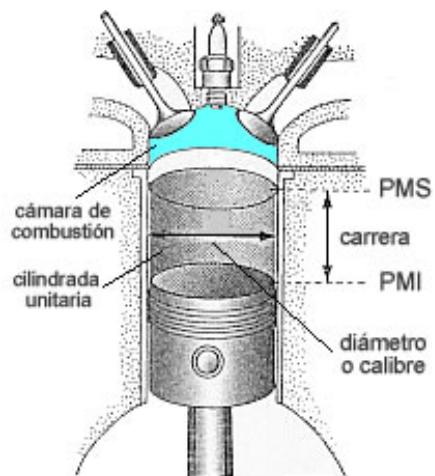
si el motor está formado por más de un cilindro, la **cilindrada total** será

$$V_T = z * V$$

siendo  $z$  el número de cilindros del motor y  $V$  la cilindrada unitaria del mismo.

—**Relación de compresión ( $R_c$ ):** Razón o relación entre el volumen libre del cilindro en el PMI y en el PMS

$$R_c = \frac{V_{PMI}}{V_{PMS}}$$



Esta magnitud nos sirve para valorar el rendimiento de un motor térmico, pues a mayor relación de compresión, mayor rendimiento. Con la misma cilindrada, a una mayor relación de compresión corresponde una cámara de combustión con menor volumen. Esto significa que un alto valor de la relación de compresión proporciona presiones elevadas en el interior de la cámara de combustión y por lo tanto un empuje más fuerte sobre el pistón en el momento de la combustión.

## D. Motor de explosión (MEP) de cuatro tiempos o motor Otto

Este motor sigue el ciclo usado por primera vez por Nicolaus Otto en 1877 (ciclo de Otto). El ciclo en cuestión consta de cuatro etapas o tiempos, dos adiabáticos y dos isocoros: Como ciclo que es, es cerrado, es decir que se parte de una condiciones iniciales de presión, temperatura y volumen del gas y se regresa al punto de partida en las mismas condiciones y como motor, absorbe un calor  $Q_1$  y cede un calor  $Q_2$  al exterior. La diferencia entre energía consumida y cedida se transforma en trabajo.

**Primer tiempo: Admisión (0-1):** En esta etapa, baja el pistón desde el PMS hasta el PMI arrastrado por la inercia del cigüeñal, mientras se mantiene abierta la válvula de admisión por la que entra, por aspiración, la mezcla del combustible (gasolina) y aire en el cilindro. La válvula de escape permanece cerrada. El gas sufre una expansión isobárica (a presión constante, la atmosférica,  $P_{amb}$ ) y a la temperatura del exterior (temperatura ambiente). Al final de la etapa, se cierra la válvula de admisión. Esta

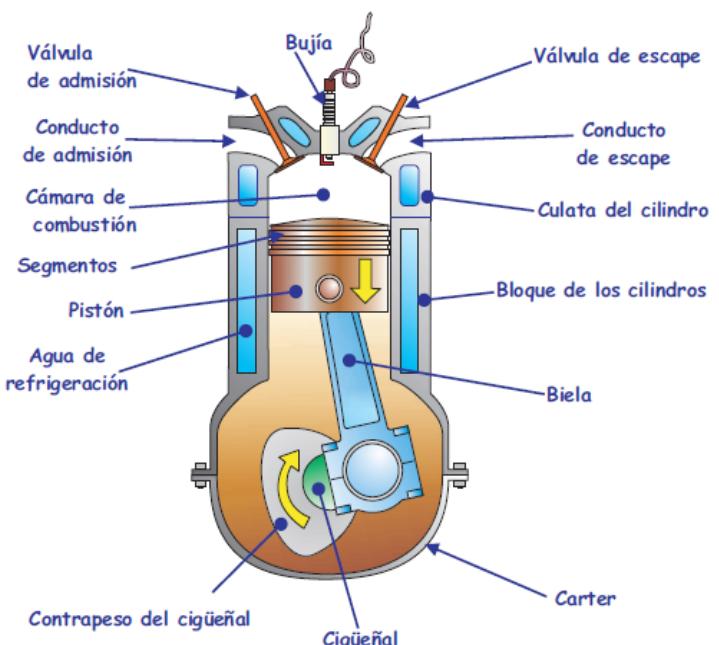
etapa finaliza cuando el pistón alcanza el PMI. El cigüeñal ha girado media vuelta.

**Segundo tiempo:** Compresión adiabática (1-2) (sin intercambio de calor): En esta etapa, sube el pistón mientras se mantienen cerradas las dos válvulas. En consecuencia el gas se comprime de forma adiabática, elevándose la temperatura de la mezcla. El gas, por lo tanto, sufre una compresión adiabática que eleva la presión de la mezcla. Esta compresión conlleva trabajo negativo. Esta etapa finaliza cuando el pistón alcanza el PMS.

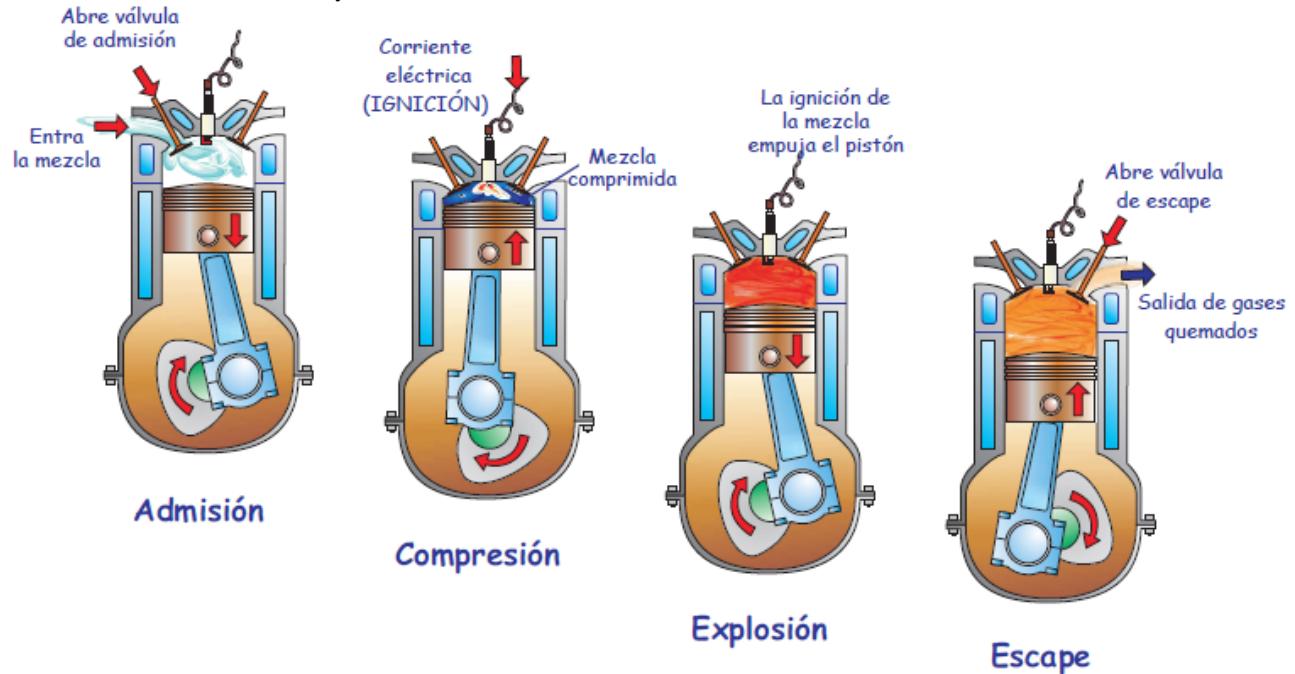
**Tercer tiempo:** Explosión-expansión (2-3 y 3-4): Al alcanzar la mezcla la máxima compresión (en el PMS), salta la chispa de la bujía y, por lo tanto, explota la mezcla del combustible y el aire, lanzando de forma brusca el pistón hacia abajo. En este tiempo, ambas válvulas permanecen cerradas. Este tiempo, como se observa en el diagrama consta de dos etapas: la isocora (2-3) en la que ocurre la explosión, que implica un incremento brusco de presión y un fuerte consumo de calor a volumen constante, un incremento tan rápido que no hay apenas variación de volumen, aunque sí de temperatura. La siguiente etapa (3-4) es la expansión adiabática (no se intercambia calor) en la que se efectúa trabajo positivo y tanto la presión como la temperatura descienden. Esta etapa es la única que realmente genera trabajo. Esta etapa finaliza cuando el pistón alcanza el PMI, que es cuando se abre la válvula de escape

**Cuarto tiempo:** Escape (4-1 y 1-0): Al principio de esta etapa se abre la válvula de escape. Los gases de la combustión escapan al exterior, por lo que la presión y la temperatura bajan bruscamente a volumen constante (etapa 4-1, isocora). El calor se libera en esta etapa, la temperatura bajará hasta la del exterior. Al igual que la presión, que alcanzará la atmosférica. Inmediatamente después comienza a subir el pistón a presión constante (la atmosférica), es decir, la etapa (1-0) es una compresión isobárica. Este tiempo finaliza cuando el pistón alcanza el PMS y llegado al él, se cierra la válvula de escape y se abre la válvula de admisión. El ciclo vuelve a empezar.

Cada carrera completa corresponde a media vuelta del cigüeñal. Por lo

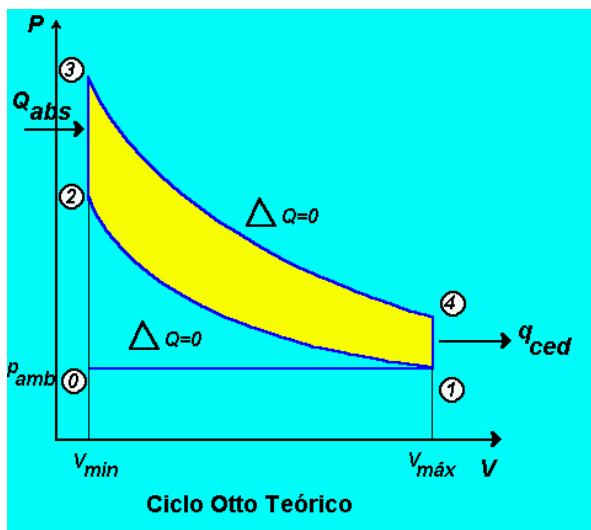


tanto para realizar el ciclo completo se requieren dos revoluciones completas en el **motor de cuatro tiempos**.



Esquema del motor de explosión

### Tiempos del motor de cuatro tiempos de Otto



### Ciclo de Otto

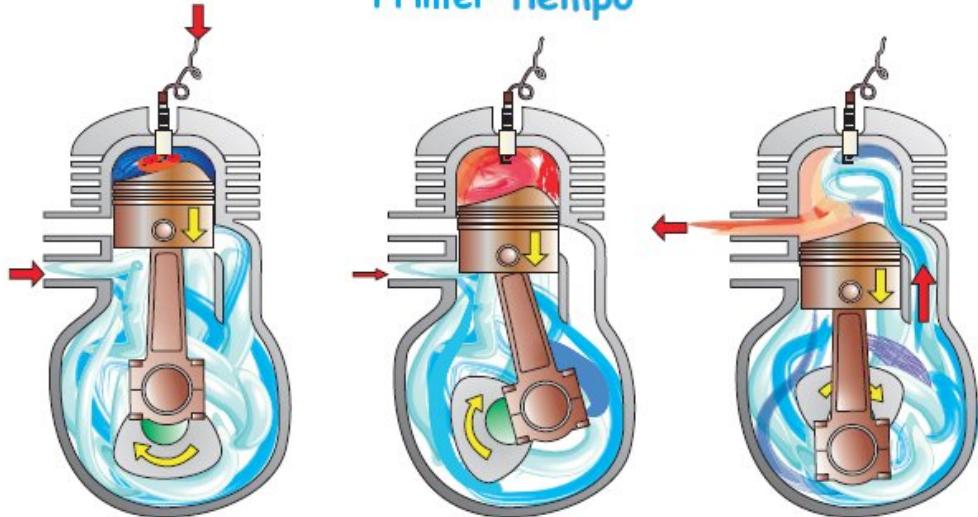
## E. Motor de explosión (MEP) de dos tiempos

Son motores más simples que los de cuatro tiempos y no poseen válvulas. La entrada y salida de gases se realiza por unas lumbreras (orificios en las paredes

del cilindro) descubiertos y cubiertos por el propio pistón. El cárter comunica con la lumbrera de escape.

**Primer tiempo:** Cuando el pistón está en el PMS se produce la inflamación, se da una expansión que abre la lumbrera de escape por donde escapan los gases quemados. Al bajar el pistón se comprime la mezcla de combustible en el cárter y comienza a entrar en el pistón. La lumbrera de admisión permanece cerrada.

### MEP DE DOS TIEMPOS Primer tiempo

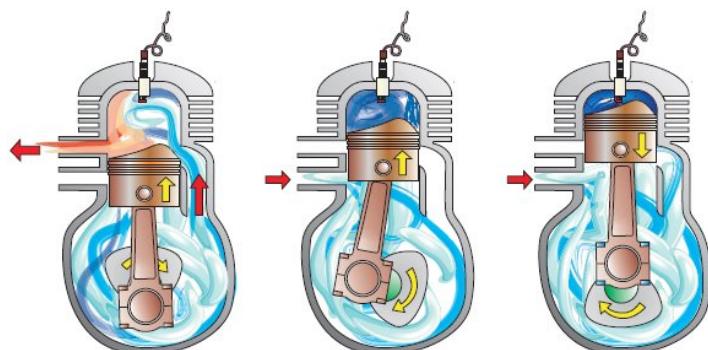


Chispa en bujía e ignición de la mezcla comprimida en cilindro

Pistón en PMS pasa a PMI desarrollando trabajo, cierra lumbrera de admisión y comprime mezcla en el cárter, libera lumbrera de escape y expulsa humo al exterior, libera lumbrera de paso y la mezcla del cárter pasa al cilindro.

**Segundo tiempo:** Por inercia, el pistón sube desde el PMI hasta el PMS. Se expulsan los últimos gases residuales y termina la fase de admisión de la mezcla. Se abre la lumbrera de admisión y entra el fluido en el cárter. La lumbrera de escape se cierra y la mezcla permanece comprimida en el cilindro.

### MEP DE DOS TIEMPOS Segundo tiempo



Pistón en PMI pasa a PMS (debido a inercia)  
mezcla precomprimida en cárter pasa a cilindro barriendo humos al exterior  
cierra lumbrera de paso y de escape comprimiendo mezcla en cilindro,  
libera lumbrera de admisión y absorbe mezcla de nuevo combustible

## Ventajas e inconvenientes del motor de dos tiempos

### Ventajas

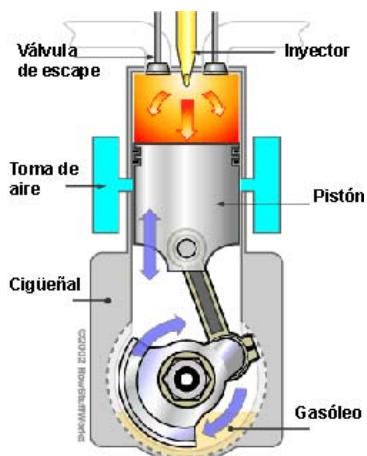
1. El motor de dos tiempos tiene mayor potencia que el de cuatro tiempos: Esto se debe a que este motor efectúa trabajo útil en cada vuelta del cigüeñal, mientras que el de cuatro tiempos efectúa trabajo útil cada dos vueltas.
2. El motor de dos tiempos es más sencillo: pues carece de árbol de levas y, en consecuencia, de la correspondiente correa de distribución (se ahorra espacio y material)
3. El motor de dos tiempos no tiene válvulas: que tienden a desgastarse.
4. Menos consumo de combustible, puesto que posee menores pérdidas mecánicas
5. Menos emisiones de gases contaminantes

### Inconvenientes

1. Menor rendimiento mecánico
2. El aceite llega a mezclarse con el combustible en la cámara de combustión, por lo que el consumo de aceite es mayor. Además genera mayor suciedad en el interior del cilindro y es más contaminante
3. Combustión poco efectiva.

Aplicaciones: Pequeños motores para lanchas fueraborda, motocicletas, motosierras,...

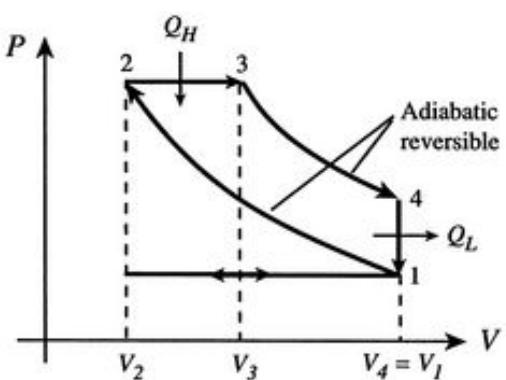
## F. Motor de combustión (MEC) de cuatro tiempos o motor Diesel



En este motor, la formación de la mezcla de aire y combustible (gasóleo) se realiza en el interior del cilindro, comprimiendo el aire puro e introduciendo el combustible al final de la compresión con el inyector. En el motor Otto, se introduce la mezcla directamente. Por lo tanto estos motores no tienen carburador ni bujías, en lugar de ello poseen inyectores de combustible.

Estos motores han desplazad poco a poco a los MEP

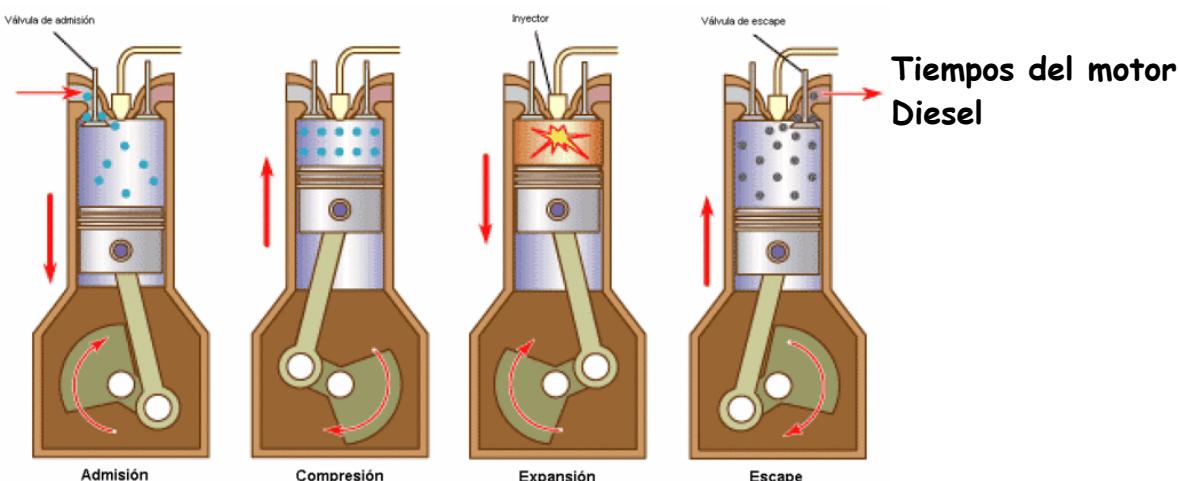
**Primer tiempo:** (etapa 0-1): Admisión. El pistón se desplaza desde el PMS hasta el PMI, se abre la válvula de admisión y se aspira aire filtrado. Expansión isobárica a presión atmosférica. Al final del tiempo, el cigüeñal ha girado 180°.



**Segundo tiempo** (etapa 1-2): Compresión adiabática. El pistón sube desde el PMI hasta el PMS. Ambas válvulas están cerradas y se incrementa la presión y la temperatura del aire, puesto que la compresión del aire es adiabática. Se realiza en esta etapa un trabajo negativo. El cigüeñal ha girado otros 180°

**Tercer tiempo** (etapa 2-3) combustión y (etapa 3-4) expansión. Comprimido el aire y con las válvulas cerradas, se inyecta el combustible pulverizado y entra en contacto con el aire caliente, provocando la combustión, que provoca una expansión brusca a presión constante ( $P=cte$ , isobárica) (tramo 2-3) en la que se absorbe gran cantidad de calor y se realiza trabajo positivo útil. Tras esta etapa, sigue una expansión adiabática (etapa 3-4) donde la presión y la temperatura de la mezcla disminuyen, mientras el pistón baja hasta el PMI. El pistón gira otros 180°

**Cuarto tiempo:** (etapa 3-4 y 4-0) Escape. El pistón sube desde el PMI hasta el PMS, se abre la válvula de escape disminuyendo la presión en el PMI y en el recorrido (1-0) hasta el PMS donde terminan de salir los gases quemados a la presión atmosférica constante..



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

## G. Diferencia entre los MEC y los MEP

Respecto a los elementos constructivos son similares, aunque existe una diferencia que radica en que el carburador y el sistema de encendido (bujía) de los MEP quedan sustituidos en los MEC por un sistema de inyección.

Debido a las grandes presiones que los Diesel deben soportar, existe una diferencia en cuanto a tamaño volumen del motor.

- Los motores Diesel son más robustos y voluminosos. Poseen más vida útil.
- Los cilindros deben ser mayores y las cámaras de compresión menores.
- Las válvulas son más robustas.
- El aceite de engrase es de mayor calidad.

- El combustible es más barato y se requiere mayor consumo para conseguir igual potencia. El gasóleo es más denso que la gasolina y ocupa menos espacio en el tanque.
- Los motores Diesel tienen mayor rendimiento térmico a igual calor de combustión.
- Producen una combustión completa del gasóleo
- Emiten menos gases nocivos
- El gasóleo no produce vapores inflamables
- pero los Diesel también poseen inconvenientes:
  - Son más pesados y caros, pues sus costes de fabricación son mayores.
  - No desarrollan grandes velocidades, ya que tarda más el combustible en quemarse
  - Son más ruidosos y poseen mayores vibraciones.

## H. Motor de combustión externa

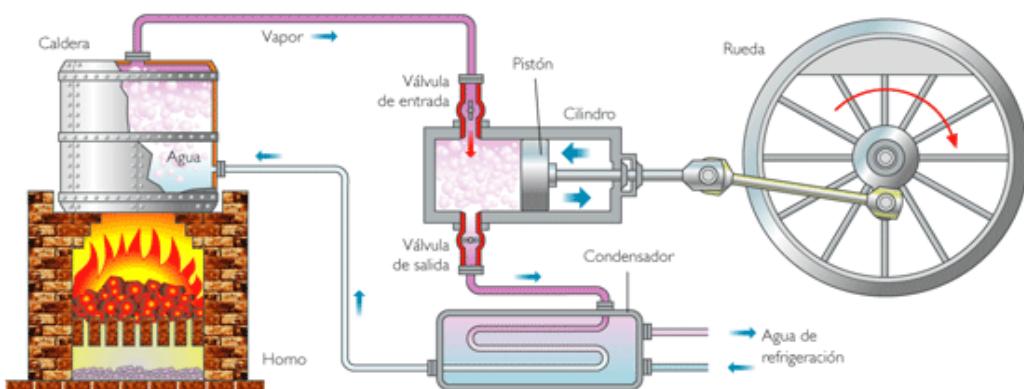
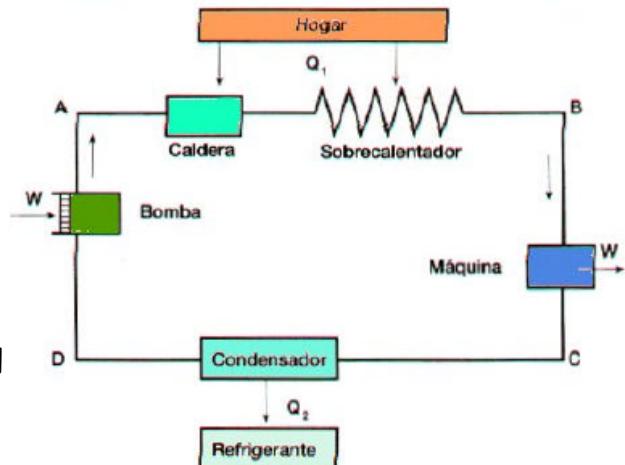
Recuerda que: la combustión de estos motores se produce en una cámara externa al propio motor y los gases generados en la combustión causan el movimiento del motor.

### 1. Máquina de vapor

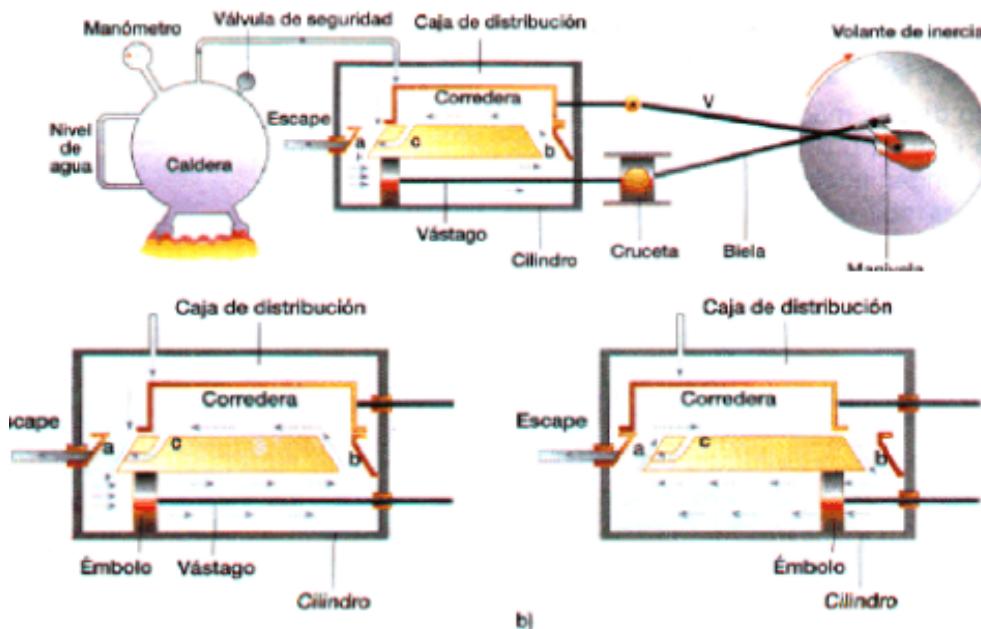
Utilizan agua en sus estados líquidos y gaseoso como fluidos de trabajo.

En el hogar, exterior a la máquina, se realiza la combustión. El agua, que proviene de una bomba, entra en la caldera en estado líquido a alta presión. En la caldera el agua absorbe calor y hiere, obteniendo vapor saturado que sigue calentándose en el sobrecalentador hasta los 600 °C, pasando los cilindros que transforman la energía térmica en mecánica.

El cilindro transforma un movimiento lineal alterativo en rotatorio mediante un volante de inercia unido a un sistema biela-manivela.

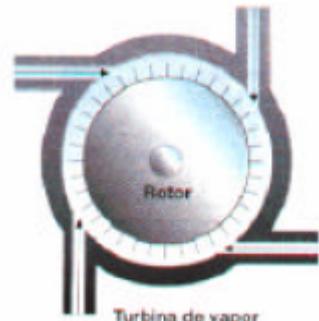


NOTA: El volante de inercia es un elemento circular que gira encargado de almacenar energía cinética en determinados momentos del ciclo.



## 2. Turbina de vapor

El vapor pasa a través de una toberas (4 en total) donde pierde presión y gana velocidad de forma que el flujo se orienta tangencialmente sobre la turbina, la cual gira gracias a un conjunto de álabes (paletas) que absorben la energía de la corriente de vapor. En otras palabras, el vapor de agua actúa directamente sobre los álabes de la rueda, haciéndola girar muy rápido.



Estas máquinas tienen la ventaja de que carece de cilindro y de órganos de transformación del movimiento; por ello su rendimiento es mayor.

Actualmente se emplean en centrales eléctricas, propulsión de buques y diversas industrias. Su uso se está extendiendo.