

## TEMA 8: MOTORES TÉRMICOS

1. Introducción
2. Máquina de vapor
  - 2.1. Funcionamiento de la máquina de vapor.
  - 2.2. Ciclo de Rankine
3. Motores
  - 3.1. Características generales de los motores
4. El motor térmico
  - 4.1. Principio básico de funcionamiento
  - 4.2. Clasificación de los motores térmicos
  - 4.3. Aplicaciones
5. El motor de explosión de cuatro tiempos.
  - 5.1. Funcionamiento
  - 5.2. Ciclo teórico del motor. Ciclo de Otto.
  - 5.3. Parámetros del motor
  - 5.4. Par motor y potencia
6. El motor de explosión de dos tiempos
  - 6.1. Funcionamiento
  - 6.2. Parámetros y magnitudes característicos
  - 6.3. Ventajas e inconvenientes
  - 6.4. Aplicaciones.
7. El motor Diesel
  - 7.1. Funcionamiento
  - 7.2. Parámetros y magnitudes característicos
  - 7.3. Ventajas e inconvenientes.

### 1. Introducción

Clasificamos las máquinas en dos tipos: motrices y operadoras.

- **Máquinas motrices** son las encargadas de transformar la energía que se obtiene de los combustibles, del viento, del agua, del vapor, de la electricidad, etc. en energía mecánica.
- **Máquinas operadoras** utilizan la energía que les suministran las máquinas motrices para producir un efecto determinado. Entre ellas tenemos los vehículos, los tornos, las fresadoras, las taladradoras, etc.

Estudiaremos las máquinas motrices.

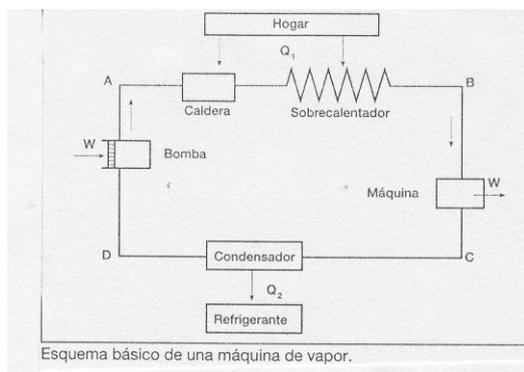
## 2. Máquina de vapor

Es una máquina de combustión externa que aprovecha la fuerza expansiva del vapor de agua para mover el émbolo y, así, producir trabajo.

### 2.1. Funcionamiento de la máquina de vapor.

Los órganos principales de la máquina de vapor y las misiones que realiza son:

- **Hogar:** exterior a la máquina. En él se realiza la combustión.
- **Caldera:** recipiente, generalmente de acero, donde se genera el vapor de agua. Va provista de un nivel de agua, para observar la altura de ésta en el interior de la caldera, un manómetro, para medir la presión interior y una válvula de seguridad, que se abre cuando la presión alcanza un determinado valor, evitándose así el peligro de explosión. El agua impulsada por una bomba, penetra en la caldera en estado líquido, a alta presión y a una temperatura próxima a la del ambiente. En la caldera el agua se calienta y se vaporiza, pasando a continuación a un sobrecalentador conectado a ella misma, don de se eleva más su temperatura, manteniéndose constante la presión. El vapor sobrecalentado pasa luego al cilindro.
- **Cilindro motor:** constituido esencialmente por la caja de distribución, la corredera y el émbolo. Debido a la fuerza expansiva del vapor de agua, en el émbolo se origina un movimiento alternativo. En el cilindro, el vapor de agua se expande, con lo que al disminuir su presión y temperatura se condensa en parte, pasando a continuación la mezcla de líquido y vapor saturado a un condensador, donde el vapor restante se licua, siendo cedido el calor de condensación al refrigerante (la atmósfera). El líquido condensado es enviado de nuevo, por medio de una bomba, a la caldera, completándose el ciclo.

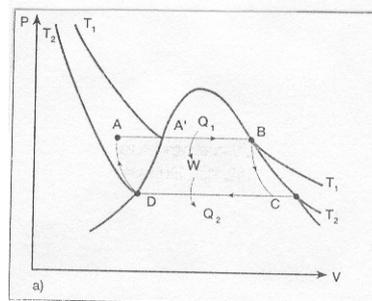


## 2.2. Ciclo de Rankine

Si el proceso que experimenta el agua en una máquina de vapor siguiese un ciclo de Carnot, su diagrama P-V sería ligeramente distinto del ideal, ya que al producirse fenómenos de condensación y evaporación, durante los cambios de estado la presión permanece constante y las líneas isothermas AB y CD son al mismo tiempo isobaras.

Para que una máquina térmica pudiese seguir este ciclo, habría que detener la condensación del vapor en el punto D, antes de que se hubiese licuado por completo, y luego, por medio de un compresor, llevar adiabáticamente la mezcla hasta su licuación completa hasta alcanzar la temperatura de la caldera.

Este proceso resulta técnicamente imposible, por ello, Rankine propuso una modificación la ciclo de Carnot, que consta de los siguientes procesos:



- 1.) El agua líquida de la caldera (A), absorbiendo calor del hogar, eleva a presión constante su temperatura hasta  $T_1$  (A'), y manteniendo luego constante la presión y la temperatura se transforma reversiblemente en vapor saturado y seco. (B).
- 2.) El vapor saturado se expande en el interior de la máquina de una forma adiabática

## 3. Motores

**Motor** es toda máquina que transforma cualquier tipo de energía (química, hidráulica, eléctrica, etc.) en energía mecánica.

De esta definición se deduce que hay que suministrar o aportar una determinada energía al motor para que éste la transforme en energía mecánica.

Según el elemento que suministra la energía, los motores se clasifican en tres grandes grupos: los que utilizan la energía de un fluido (líquido o gas), los que emplean la energía de un sólido y los que usan formas especiales de energía.

Entre los que utilizan la **energía de un fluido**, destacan:

- Los motores **eólicos**, emplean el empuje del viento. Es el caso de los molinos de viento o los aerogeneradores.
- Los motores **hidráulicos** utilizan la energía de una masa de agua que se desplaza a una cierta velocidad. Es el caso de la rueda hidráulica o las turbinas.
- Los motores **de aire comprimido** usan la energía del aire a presión. (Martillos neumáticos, son un ejemplo de este tipo de motores).

- Los motores **térmicos** utilizan la energía calorífica proporcionada por un fluido. (Ejemplo: máquinas de vapor, turbinas de vapor y motores de combustión interna)

Los motores que utilizan la **energía de un sólido** aprovechan la energía potencial de éste para producir trabajo. Tendríamos los motores de pesas o de resorte y el volante de inercia, que es un acumulador de energía mecánica que almacena una determinada cantidad de energía procedente del sistema y la devuelve a éste en el momento necesario.

Dentro del grupo de motores que utilizan una **forma especial de energía**, sobresalen los motores eléctricos.

### 3.1. Características generales de los motores

Los motores se caracterizan por una serie de parámetros que determinan su funcionamiento, entre ellos están:

El motor recibe o absorbe una determinada **potencia (P)**. Una parte de ella se pierde por rozamientos y calentamientos, y se denomina *potencia perdida* ( $P_p$ ). El resto es la potencia que el motor suministra y recibe el nombre de *potencia útil* ( $P_u$ ).

La potencia total que se suministra al motor es igual a la suma de la potencia perdida y la potencia útil, y se denomina potencia absorbida.

$$P_{abs} = P_{per} + P_{útil} \quad (\text{o en términos de energía: } E_{abs} = Q_f + W)$$

El rendimiento se define como el **cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida**, y se representa por la letra griega  $\eta$

$$\eta = \frac{P_u}{P} = \frac{P_u}{P_p + P_u}$$

**El rendimiento siempre es menor que la unidad**, ya que la potencia útil es menor que la potencia absorbida. Si no existiesen pérdidas de potencia por rozamiento o calentamiento, el rendimiento sería igual a la unidad.

Los motores térmicos sólo aprovechan una parte de la energía química del combustible para la producción de trabajo útil, perdiéndose una gran parte de ella en los gases de escape, en los circuitos de refrigeración y en la radiación de calor a la atmósfera.

Por ellos, también se puede expresar el rendimiento en función del **consumo efectivo de combustible** ( $G_{EF}$ ), que se expresa en gramos de combustible consumidos por cada kWh de energía producida) y el poder calorífico del mismo.

$$\eta = \frac{1}{G_{ef} \cdot H_{cal}}$$

**La potencia térmica,  $P_T$  (potencia absorbida)** suministrada a un motor se obtiene multiplicando la masa de combustible consumida por unidad de tiempo,  $m$  (kg/s) por su poder calorífico a presión constante,  $H_c$  (kJ/kg)

$$P_T = m H_c \quad (\text{o en términos de energía: } Q_c = m \cdot H_c, \text{ siendo la unidad de } m \text{ en kg})$$

Rendimiento indicado,  $\eta_i$ , es el cociente entre la potencia calculada a partir del diagrama del motor  $P_i$ , y la potencia suministrada,  $P_T$

$$\eta_i = \frac{P_i}{P_T} = \frac{P_i}{m H_c}$$

El rendimiento efectivo,  $\eta_e$ , es el cociente entre la potencia efectiva que proporciona el motor,  $P_e$ , y la potencia suministrada,  $P_T$

$$\eta_e = \frac{P_e}{P_T} = \frac{P_e}{m H_c}$$

Los valores del rendimiento efectivo varían entre 0,25 y 0,3 para los MEP y entre 0,3 y 0,5 para los MEC.

El rendimiento mecánico,  $\eta_m$ , es el cociente entre el rendimiento efectivo y el rendimiento indicado. Suele estar en torno a 0,8 a plena carga del motor.

$$\eta_m = \frac{\eta_e}{\eta_i}$$

### Velocidad de giro

Representa el número de revoluciones por minuto (rpm) a que gira el motor en condiciones normales de funcionamiento. Esta velocidad se representa por la letra  $n$  y recibe el nombre de *velocidad nominal*.

### Potencia

Indica el trabajo que el motor es capaz de efectuar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Habitualmente se mide en *caballos de vapor (CV)*.

### Par motor

Un par de fuerzas está formado por dos fuerzas paralelas, de igual magnitud y sentido contrario. El efecto que producen sobre el cuerpo en el que actúan es un movimiento de rotación o giro.

La magnitud que mide la intensidad de giro se denomina momento de rotación o momento torsor.

Si las fuerzas son perpendiculares al radio de giro, la magnitud del momento es igual al producto de una de las fuerzas por la distancia que las separa.

$$M = F \cdot d$$

El par motor representa el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y que determina su giro. Se mide en kilográmetros (kgm) o en newtons metro (N·m).

En un motor, distinguiremos tres tipos de pares:

<i>Par de arranque</i>	<i>Par de aceleración</i>	<i>Par nominal</i>
Es necesario para que el motor inicie su giro desde el reposo. Debe ser suficiente para vencer los rozamientos y la inercia.	Actúa sobre el motor desde el instante del arranque hasta que alcanza la velocidad nominal.	Actúa sobre el motor una vez que ha alcanzado su velocidad normal o de régimen.

#### 4. El motor térmico

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

Esta transformación energética es posible gracias a un proceso de combustión. Para el análisis del motor térmico es necesario tener en cuenta los postulados de la termodinámica, que es la disciplina que se encarga del estudio de las transformaciones del calor en trabajo y viceversa.

<b>Primer principio de la termodinámica</b>	<b>Segundo principio de la termodinámica</b>
<p>“Cualquiera que sea el procedimiento empleado para convertir el calor en trabajo o viceversa, existe una relación constante entre el trabajo desarrollado y el calor consumido, siempre que el estado final del sistema sea igual al inicial”.</p> <p>Esta relación se denomina <b>equivalente mecánico del calor</b> y es igual a 427 kgm/kcal (o 4.18 J/cal)</p>	<p>“ Una máquina térmica sólo puede efectuar trabajo si absorbe calor de un manantial a temperatura superior y lo cede en parte a otro a temperatura inferior”</p> <p>O también:</p> <p><u>“El calor no puede transferirse espontáneamente de un cuerpo más frío a otro más caliente”</u></p>

##### 4.1. Principio básico de funcionamiento

El funcionamiento del motor se basa en un proceso o ciclo cerrado, es decir, al finalizar un ciclo de trabajo, el motor vuelve a las condiciones iniciales.

El proceso es el siguiente: en cierto momento de su funcionamiento, el motor recibe una determinada cantidad de calor ( $Q_C$ ), medido **kcal**, y posteriormente cede o se le sustrae otra cantidad de calor ( $Q_F$ ) menor que  $Q_C$ .

Como el calor recibido,  $Q_C$ , es mayor que el cedido,  $Q_F$ , se produce la desaparición de una cierta cantidad de energía térmica que se transforma en trabajo mecánico (T).

Según el equivalente mecánico del calor (E), el trabajo obtenido (medido en kgm) puede calcularse a partir de la expresión:

$$W = E \cdot (Q_C - Q_F) = 427 \cdot (Q_1 - Q_2) \quad \text{Por cada kcal desaparecida se obtienen 427 kgm de trabajo mecánico, o 4.18 J / Cal}$$

En un **motor térmico** se produce una serie de transformaciones que conducen a un estado final idéntico al inicial (ciclo cerrado). En el transcurso de estas transformaciones, el motor recibe energía térmica en forma de **calor** y devuelve energía mecánica en forma de **trabajo**

#### 4.2. Clasificación de los motores térmicos

Los motores térmicos se clasifican según las características del proceso de combustión que se lleva a cabo en ellos

1. De combustión externa
2. De combustión interna
  - De encendido provocado (MEP)                      De 2 tiempos o 4 tiempos
  - De encendido por compresión (MEC)                  De 4 tiempos

En los motores de **combustión externa**, ésta se produce en un espacio exterior al motor propiamente dicho. Ej: máquina de vapor

En los de **combustión interna**, ésta se produce en el interior del motor. Distinguimos dos tipos:

- **Motores de encendido por compresión (MEC)**, el proceso de combustión se produce por autoinflamación del combustible provocada por la presión, sin que medie causa externa. Ej: motores Diesel.
- **Motores de encendido provocado (MEP)**, el proceso de combustión se inicia por una causa externa, generalmente una chispa, y se produce por toda la cámara de combustión. Se denominan motores de explosión.

Además, según el ciclo del motor, se distinguen:

- ~ **Motores de cuatro tiempos:** necesitan cuatro etapas para desarrollar el proceso o ciclo completo: admisión, compresión, expansión y escape. Cada una de estas etapas corresponde a una carrera del pistón.
- ~ **Motores de dos tiempos:** el ciclo se lleva a cabo en dos etapas: admisión-compresión y expansión-escape. Ej: motores de los ciclomotores.

### 4.3. Aplicaciones

En líneas generales, los motores térmicos tienen multitud de aplicaciones en:

- ▣ **Automoción:** se utilizan para el transporte por carretera (automóviles, camiones..) la maquinaria de obras públicas, la maquinaria agrícola, la propulsión de ferrocarriles (máquinas Diesel) y la propulsión naval.
- ▣ **Generación de energía eléctrica:** se emplean grupos Diesel para el alumbrado de emergencia.
- ▣ **Accionamiento de equipos:** se usan tanto en el ámbito agrícola (cortacéspedes, motosierras, motobombas...) como industrial (compresores, bombas...).

## 5. El motor de explosión de cuatro tiempos

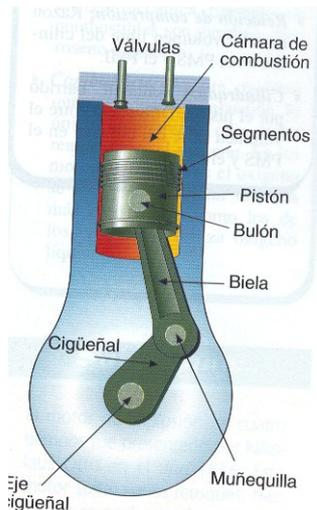
Se trata de un motor de combustión interna con encendido provocado (MEP) y con un proceso de cuatro tiempos.

### 5.1. Funcionamiento

El proceso de funcionamiento consta de cuatro etapas o carreras: **admisión, compresión, expansión y escape.**

Partes fundamentales de un motor de cuatro tiempos:

- **Carburador:** recipiente en el que se pulveriza el combustible (gasolina, generalmente) y se mezcla homogéneamente con el aire en las proporciones adecuadas (  $\approx 7$  g de gasolina por 100 g de aire). En los últimos años se han desarrollado sistemas de inyección que permiten un mejor control del combustible, sin necesidad de utilizar carburador.
- **Cilindro:** constituido por el cuerpo de bomba, con su correspondiente émbolo, dos válvulas (admisión, A, y escape, B) y una bujía. En él se realiza la explosión de la mezcla carburante, originándose un movimiento alternativo del pistón o émbolo. Este último tiene forma de vaso invertido y está unido a la biela por medio de un bulón.



Las **válvulas de admisión y de escape** tienen la misión de permitir la entrada de la mezcla combustible y la salida de los gases de combustión, respectivamente. Estas válvulas están situadas en la culata, directamente sobre el **cilindro**, y se mantienen en su posición de cierre mediante un muelle, abriéndose hacia el interior del cilindro por medio de una **leva**. Las levas se sitúan en el árbol de levas, que está sincronizado con el **cigüeñal**, de forma que la apertura y cierre se produzcan en el momento adecuado.

La **bujía** está formada por dos electrodos separados aproximadamente 0,5mm, uno unido a masa y otro procedente del distribuidor, y ambos aislados eléctricamente. El casquillo de acero de la bujía se enrosca en la parte superior del cilindro. La misión de la bujía es producir una chispa que explote la mezcla comprimida. Para ello, es necesaria una diferencia de potencial de 10000-20000 V; esto se puede realizar por una batería de 12 V que se une a un transformador para obtener la tensión necesaria.

- **Órganos transformadores del movimiento: biela-manivela y cigüeñal.** Transforman el movimiento alternativo del pistón en movimiento circular. La biela, a través de la manivela, transmite el esfuerzo del pistón al cigüeñal y éste a su vez, transmite la potencia desarrollada en los cilindros al árbol motor.

El conjunto de los cilindros, biela-manivela y cigüeñal suele encerrarse en el bastidor-cárter, que debe ser lo suficientemente resistente para soportar los esfuerzos provocados en el pistón; protege a todos los elementos que contiene y a veces sirve de depósito de lubricante.

La culata es una pieza que cierra los cilindros en la zona de combustión, y suele estar acoplada a ellos por medio de pernos (piezas metálicas con cabeza en uno de sus extremos y el otro se sujeta por tuercas). Las elevadas temperaturas que se alcanzan en la culata y en los cilindros requieren un sistema de refrigeración, que puede ser por aire o por agua (que circula entre la doble cubierta del cilindro y la culata). En este caso, el agua recorre el circuito impulsada por una bomba, y se enfría en el radiador por medio de una corriente de aire lanzada por el ventilador.

Debido a la gran cantidad de piezas móviles existentes en estos motores, es necesario disponer de una adecuada lubricación. Ésta se lleva a cabo por medio de un circuito de aceite a presión; el aceite se encuentra en un depósito, llamado cárter, desde donde se distribuye a presión por medio de una bomba a todas las partes en que sea necesario.

## Admisión

El pistón desciende desde su posición más alta dentro del cilindro (denominada punto muerto superior o *PMS*), arrastrado por el movimiento del cigüeñal. Se produce una depresión en el interior del cilindro que permite que éste se llene con la mezcla de combustible y aire a través de la *válvula de admisión*, que permanece abierta.

Cuando el pistón llega a su posición más baja dentro del cilindro (denominada punto muerto inferior o *PMI*), concluye la **primera carrera** y el cigüeñal ha girado un ángulo de  $180^\circ$ . En este momento, la válvula de admisión se cierra.

### Compresión

El pistón asciende desde el *PMI* hasta el *PMS*, arrastrado también por el movimiento del cigüeñal. Las dos válvulas permanecen cerradas y la mezcla se comprime adiabáticamente en el interior del cilindro.

Cuando el pistón llega al *PMS*, concluye la **segunda carrera** y el cigüeñal habrá girado otros  $180^\circ$ . La mezcla de combustible y aire está comprimida al máximo.

### Expansión o explosión

Cuando salta la chispa procedente de la bujía, la mezcla se inflama. Las dos válvulas siguen cerradas y el pistón es obligado a desplazarse bruscamente hacia el *PMI* por efecto de la presión ejercida por los productos de la combustión. Los gases se expanden y el movimiento del pistón arrastra el cigüeñal, que es el que realiza el **trabajo útil**. (Trabajo mecánico)

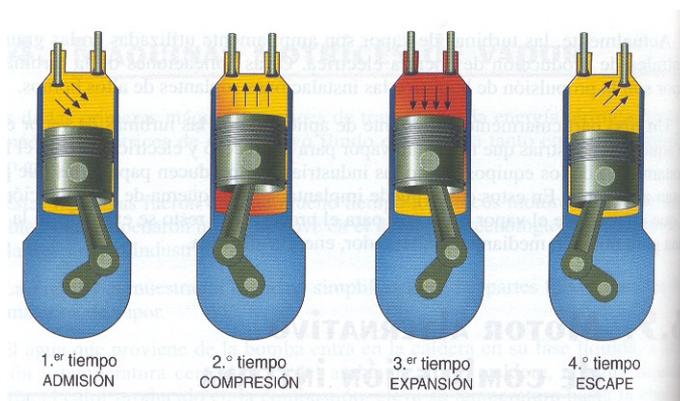
En el momento que el pistón llega al *PMI*, concluye la **tercera carrera** y el cigüeñal ha girado de nuevo  $180^\circ$ . En este instante, la válvula de escape se abre.

### Escape

El pistón se desplaza desde el *PMI* hasta el *PMS*, arrastrado por el movimiento del cigüeñal. La válvula de escape, que permanece abierta, permite la salida de los gases quemados.

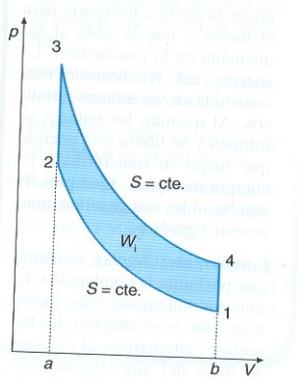
Al llegar el pistón al *PMS*, concluye la **cuarta carrera**, asociada a un nuevo giro del cigüeñal de  $180^\circ$ .

La válvula de escape se cierra y la válvula de admisión se abre, con lo que se está en disposición de iniciar un nuevo ciclo.



5.2. Ciclo teórico del motor. Ciclo de Otto

Para interpretar correctamente el **ciclo teórico** del motor de cuatro tiempos, hemos de tener en cuenta tres variables: presión (P), volumen (V) y temperatura absoluta (T) de la mezcla de combustible y aire en el interior del cilindro. Utilizaremos un diagrama P-V



**Tramo 1-2:** Se realiza la compresión adiabática del fluido de trabajo. El área que delimitan las líneas 1-2, 2-a, a-b y b-1 es el trabajo introducido para realizar esta compresión.

**Tramo 2-3:** Absorción instantánea de calor en el momento de la explosión. Tiene lugar a volumen constante.

**Tramo 3-4:** Expansión adiabática del pistón. El trabajo cedido es el área delimitada por las líneas 4-3, 3-a, a-b y b-4.

**Tramo 4-1:** Extracción instantánea de calor.

El trabajo neto que se extrae del ciclo es la resta de las dos áreas anteriores, es decir, el área interior al ciclo.

El rendimiento del ciclo ideal de Otto viene dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}}$$

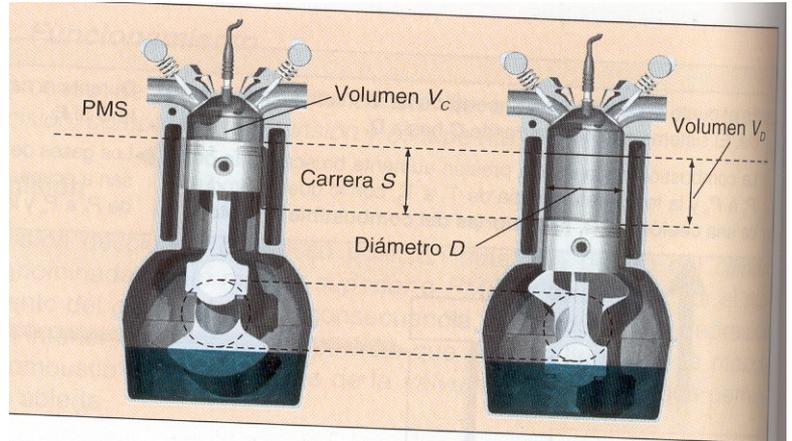
donde  $R = V_1/V_2$ , se denomina grado de compresión de la mezcla y es el cociente entre el volumen libre del cilindro en el PMS ( $V_1$ ) y en el PMI ( $V_2$ ), y  $\gamma$  es su coeficiente adiabático.

Del análisis del ciclo deducimos lo siguiente:

- ☺ Se trata de un **ciclo cerrado**, ya que durante el proceso se parte de unas condiciones iniciales de presión, volumen y temperatura, y al final se regresa al punto de partida en las mismas condiciones.
- ☺ Se produce un **aporte calorífico** de  $Q_c$  kcal del combustible al motor y una **cesión** de  $Q_f$  kcal del motor al exterior.
- ☺ La diferencia entre la energía aportada y la cedida se transforma en **energía mecánica**. Esta se manifiesta durante la carrera de expansión, que es la única en la que se produce trabajo útil y donde el pistón arrastra el cigüeñal. En el resto de las carreras, es el cigüeñal el que arrastra el pistón gracias a la acción del volante de inercia.

5.3. **Parámetros del motor**

El motor de explosión de cuatro tiempos se caracteriza por una serie de **parámetros**, tales como el diámetro del cilindro, la carrera del pistón, el volumen de la cámara de combustión y el régimen de giro del motor.



- **Diámetro o calibre (D):** es el diámetro interior del cilindro medido en mm.
- **Carrera (S):** es el espacio que recorre el pistón entre el PMS y el PMI, expresado también en mm.
- **Volumen de la cámara de combustión (V<sub>c</sub>):** es el volumen que ocupa la mezcla cuando el pistón está en el PMS en la fase de compresión.
- **Régimen de giro del motor (n):** es el número de revoluciones por minuto (rpm) a que gira el motor.

A partir de estos parámetros, pueden determinarse otros como:

- **Relación carrera-diámetro (S/D):** es el cociente que resulta de dividir la carrera entre el diámetro. Es adimensional.

$$\text{Relación carrera-diámetro} = S / D$$

- **Cilindrada unitaria (V<sub>D</sub>):** es el volumen del cilindro comprendido entre el PMS y el PMI. Se mide en centímetros cúbicos (cc)

$$V_D = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4000}$$

- **Cilindrada total (V<sub>T</sub>):** es el producto de la cilindrada unitaria por el número de cilindros (Z) que posee el motor

$$V_T = Z \cdot V_D$$

- **Relación volumétrica de compresión (r):** es el cociente entre el volumen ocupado por la mezcla cuando el pistón está en el PMI y el que ocupa cuando está en el PMS. Es adimensional.

$$R = \frac{V_D + V_C}{V_C}$$

### 5.4. Par motor y potencia

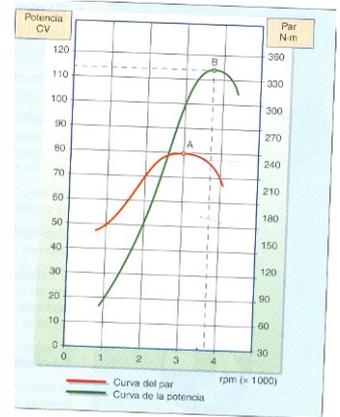
Estas dos magnitudes se derivan del proceso de combustión de la mezcla en el interior del motor.

El **par motor** en el caso del motor de cuatro tiempos, se obtiene en el cigüeñal y varía con el régimen de giro del motor.

La **potencia** es una consecuencia del par motor y del régimen de giro del motor.

Evolución del par motor y la potencia de un motor en función de su régimen de giro:

- ~ La curva del par motor (A) es creciente hasta llegar al punto A: el par máximo 240 Nm, se obtiene a 3000 rpm, a partir de él se vuelve decreciente.
- ~ La curva de potencia (B) es creciente hasta llegar a B: la potencia máxima 114 CV se obtiene a 3800 rpm, a partir de este punto, la curva se vuelve decreciente.

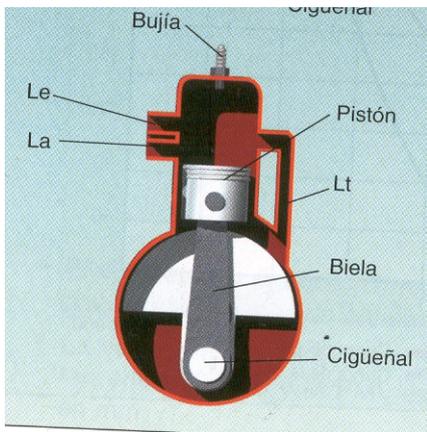


La diferencia de regímenes se explica si tenemos en cuenta que el aumento del número de revoluciones puede compensar la disminución del par y permitir que la potencia aumente un poco más.

### 6. El motor de explosión de dos tiempos

Se trata de un motor térmico de combustión interna con encendido provocado (MEP) y con un proceso de dos tiempos o carreras.

Las partes esenciales de un motor de dos tiempos monocilíndrico son:



Se aprecia la desaparición de las válvulas de admisión y escape, propias del motor de cuatro tiempos. En su lugar, aparecen los conductos de admisión y escape denominados lunbrera de admisión al cárter (La) y lunbrera de escape (Le).

También hay otra abertura que comunica el cárter con el cilindro y que recibe el nombre de lunbrera de transferencia (Lt).

Estas lunbreras quedan abiertas o cerradas por el movimiento del pistón en el interior del cilindro.

La mezcla de combustible y aire no entra directamente en el cilindro, sino en el cárter, que actúa como una bomba que aspira la mezcla a través de la La y la transfiere al cilindro mediante la Lt.

### 6.1. Funcionamiento

El ciclo de funcionamiento de un motor de dos tiempos consta de las mismas cuatro fases que el de cuatro tiempos, sólo que realizadas en dos carreras del pistón, y por tanto, en una sola vuelta del cigüeñal. Distinguiremos dos etapas:

#### Admisión-compresión

El pistón asciende en su primera carrera desde el PMI hasta el PMS arrastrado por el cigüeñal, que gira 180°. En este movimiento comprime la mezcla que se encuentra en el cilindro.

A la vez, descubre la lumbrera de admisión para que una cierta cantidad de la mezcla nueva pase al cárter. La lumbrera de escape permanece cerrada.

Al llegar el pistón al PMS, salta la chispa procedente de la bujía y se produce la combustión de la mezcla.

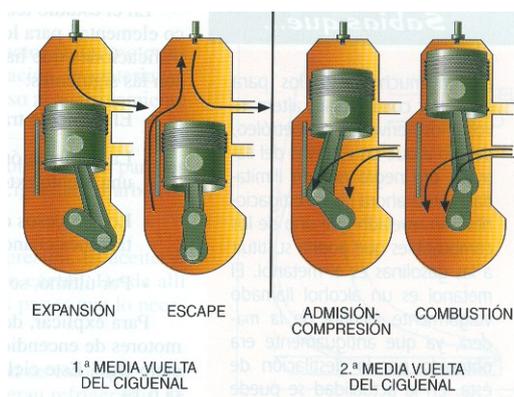
#### Expansión-escape

Al producirse la combustión de la mezcla, se ejerce una presión sobre el pistón, que desciende bruscamente en su segunda carrera arrastrando el cigüeñal, que gira otros 180°.

La lumbrera de escape comienza a descubrirse y los gases quemados pueden salir al exterior.

Inmediatamente, se descubre la lumbrera de transferencia y la mezcla nueva procedente del cárter entra en el cilindro y desaloja el resto de los gases quemados.

El pistón se encuentra en el PMI y puede comenzar a ascender, arrastrado por el cigüeñal para iniciar un nuevo ciclo.



### 6.2. Parámetros y magnitudes características

Los parámetros característicos de un motor de dos tiempos son los mismos que los definidos en los de cuatro tiempos y el par motor y la potencia evolucionan en función del régimen de giro del motor del mismo modo que en el de cuatro tiempos

### 6.3 Ventajas e inconvenientes

El motor de dos tiempos presenta las siguientes ventajas frente al de cuatro tiempos:

- ~ Sencillez de construcción, ya que carece de árbol de levas y por tanto de la correspondiente correa de distribución.
- ~ Supresión de las válvulas, que siempre están sujetas a gran desgaste.
- ~ Mayor potencia, ya que el motor de dos tiempos efectúa trabajo útil en cada vuelta del cigüeñal, mientras que el de cuatro tiempos lo realiza cada dos vueltas.
- ~ Mejor funcionamiento de los órganos de transmisión.

Sin embargo también tiene algunos inconvenientes, tales como:

- ~ Menos rendimiento mecánico.
- ~ Mayor temperatura de funcionamiento, ya que la combustión de la mezcla se produce con una frecuencia superior.
- ~ Mayor funcionamiento de sus órganos.
- ~ Mayores niveles de contaminación generados por la combustión de los aditivos de la mezcla.

### 6.4 Aplicaciones

El motor de dos tiempos tiene dos campos de aplicación fundamentales:

- ~ Pequeños motores para lanchas fuerabordas, motocicletas y auxiliares. Suelen ser motores sencillos, debajo coste, refrigerados por aire y autolubricados mediante aditivos de la mezcla combustible.
- ~ Grandes motores para embarcaciones caracterizados por una gran potencia.

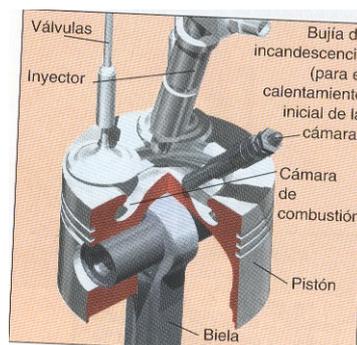
## 7. El motor Diesel o motor de combustión MEC

Se trata de un motor térmico de combustión interna con encendido por compresión (MEC) y con un proceso que puede funcionar en dos o en cuatro tiempos.

Exteriormente es parecido al motor MEP de cuatro tiempos.

La diferencia fundamental radica en que carece de bujías que provoque la chispa y, en su lugar, están los inyectores de combustible que son los encargados de introducir la mezcla en el cilindro en el momento preciso y en la cantidad adecuada.

La cámara de combustión suele estar labrada en la parte superior del pistón.



### 7.1 Funcionamiento

Proceso de funcionamiento de un motor Diesel de inyección directa (ID) y de cuatro tiempos o carreras:

#### Admisión

El pistón desciende desde el PMS, arrastrado por el movimiento del cigüeñal. Como consecuencia se produce una depresión en el interior del cilindro que permite que este se llene sólo de aire a través de la válvula de admisión, que permanece abierta.

Cuando el pistón llega al PMI, concluye la primera carrera y el cigüeñal a girado un ángulo de 180°. En este momento la válvula de admisión se cierra.

#### Compresión

El pistón asciende desde el PMI hasta el PMS, arrastrado también por el movimiento del cigüeñal. Las dos válvulas permanecen cerradas y el aire se comprime en el interior del cilindro a una elevada presión, por lo que adquiere una gran temperatura.

Cuando el pistón está llegando al PMS, se inyecta el combustible finamente pulverizado en la cámara de combustión. Al contacto con el aire caliente, el combustible se autoinflama y se produce la combustión.

El cigüeñal ha girado otros 180° y concluye la segunda carrera.

#### Expansión

Las dos válvulas siguen cerradas y el pistón es obligado a desplazarse bruscamente hacia el PMI por efecto de la presión ejercida por los productos de la combustión. Los gases se expanden y el movimiento del pistón arrastra el cigüeñal, que es el que realiza el trabajo útil.

Cuando el pistón llega al PMI, concluye la tercera carrera y el cigüeñal ha girado de nuevo 180°.

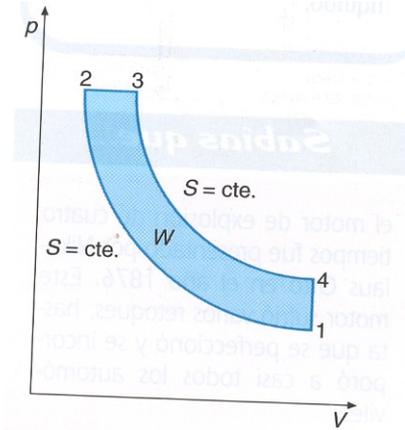
#### Escape

En esta fase, el pistón se desplaza desde el PMI hasta el PMS, arrastrado por el movimiento del cigüeñal. La válvula de escape se abre y permite la salida de los gases quemados.

Al llegar el pistón al PMS, concluye la cuarta carrera, asociada a un nuevo giro del cigüeñal de 180°.

La válvula de escape se cierra y la válvula de admisión se abre, con lo que está en disposición de iniciar un nuevo ciclo.

En estos motores, existe una precámara de combustión en la que el inyector pulveriza el combustible. Parte de él se quema en esta precámara y el resto pasa a la cámara de combustión principal, donde se encuentra el aire necesario para completar la combustión.



Las fases de este ciclo son las siguientes:

**Tramo 1-2:** Compresión adiabática, es decir, sin introducción ni extracción de calor.

**Tramo 2-3:** Absorción de calor que se realiza manteniendo la presión constante. Este intervalo modeliza la combustión no instantánea que se produce en este tipo de motores.

**Tramo 3-4:** Expansión adiabática.

**Tramo 4-1:** Cesión de calor manteniendo el volumen constante

La diferencia entre los ciclos Otto y Diesel, es fundamentalmente, la forma en que se introduce el calor en ellos.

### 6.2. Parámetros y magnitudes característicos

Los parámetros característicos de un motor Diesel son los mismos que los definidos para el MEP de cuatro tiempos: diámetro (D), carrera (S), régimen de giro (n) y relación volumétrica de compresión (r ).

En estos motores la **potencia** desarrollada es menor que en los motores de gasolina. La **relación de compresión** es mucho mayor que en los de gasolina.

### 6.3. Ventajas e inconvenientes

Si comparamos un motor Diesel con uno de explosión de cuatro tiempos, podemos establecer las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento térmico, es decir, más cantidad de calor transformado en trabajo mecánico.
- Menor consumo y menor coste del combustible
- Mayor duración de la vida del motor.
- Menor contaminación de los gases de escape, aunque junto a éstos también se emiten partículas de hollín.

Los inconvenientes son:

- Motor más pesado.
- Mayor coste de construcción, aunque su coste de amortización es equivalente por su mayor duración.
- Mayor ruido por las fuertes explosiones de la combustión.