

II. PRINCIPIOS DE MÁQUINAS

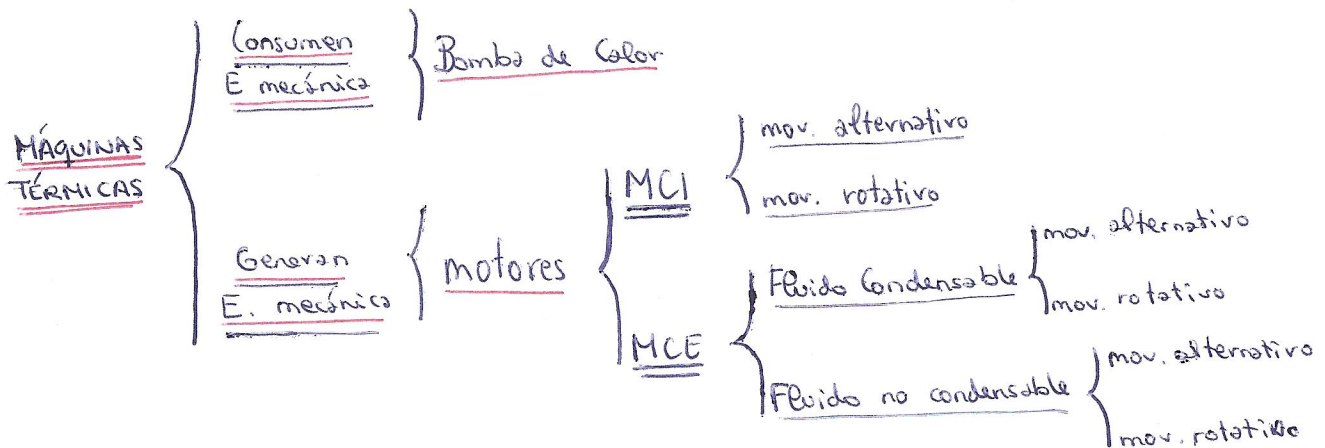
9. MOTORES TÉRMICOS

Las máquinas o motores térmicos son dispositivos que funcionan periódicamente, transformando calor en trabajo, es decir, "generan" energía mecánica.

El calor necesario para el funcionamiento de la máquina térmica suele provenir de la liberación de energía química en una combustión, que es recogida por un fluido motor que, al describir un ciclo termodinámico, pone en marcha algún mecanismo.

En función de dónde tenga lugar la combustión existen motores de combustión externa (MCE) o motores de combustión interna (MCI), si tiene lugar dentro del motor. En función del movimiento que generen pueden ser: de mov. alternativo o rotativo.

En los MCI, el fluido es el que combustiona, mientras que en los MCE existen dos fluidos que intercambian calor, que uno se combustiona y el otro, el fluido motor, puede ser agua u otro fluido condensable, o aire u otros fluidos no condensables.



9.1. MÁQUINA DE VAPOR

Es una máquina de combustión externa que aprovecha la fuerza expansiva del vapor de agua para mover un émbolo y generar movimiento.

9.1.2. Funcionamiento de una máquina de vapor

Los elementos principales de la máquina de vapor son:

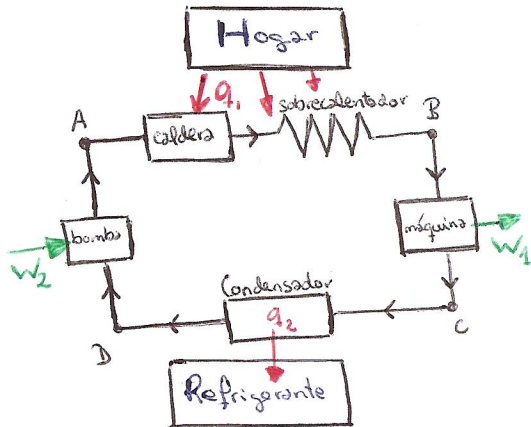
- Hogar: es exterior a la máquina y es donde se produce la combustión.
- Caldera: recipiente donde se genera el vapor de agua. Está provisto de: un nivel para saber la altura del agua, un manómetro y una válvula de seguridad.

El agua, impulsada por una bomba, penetra en estado líquido y a alta presión, pero a ambiente. El agua es calentada y vaporizada y, normalmente, después pasa por un sobrecalentador, que mantiene la presión de la caldera, pero aumenta la temperatura del vapor de agua.

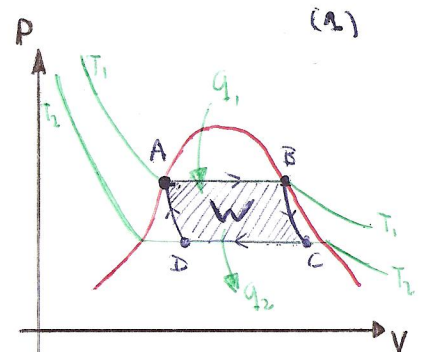
- Cilindro motor: constituido por una caja de distribución, una corredera y un émbolo; el vapor penetra en la caja de distribución y, debido a la posición de la corredera, empuja el émbolo. Conforme avanza el émbolo, la corredera cambia de posición, haciendo que el vapor empuje, ahora, el émbolo hacia su estado inicial. En este proceso de movimiento alternativo se aprovecha la fuerza expansiva del vapor, descendiendo su presión y temperatura.

Después de realizar el trabajo de expansión el vapor se condensa en un condensador, donde cede calor al refrigerante, y torna líquido. La bomba lo comprime y lo reenvía de nuevo a la caldera.

2.1.b. Ciclo de Rankine

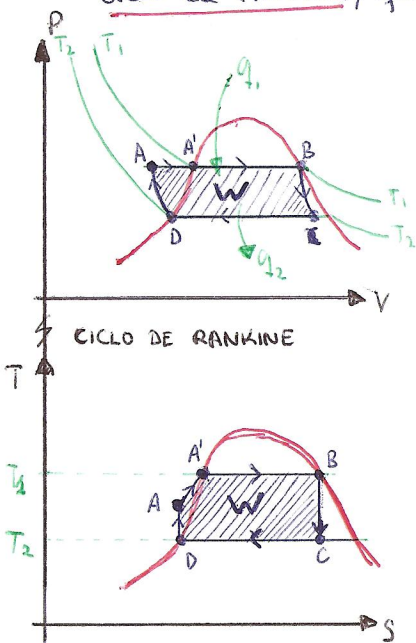


Si el proceso que experimenta el agua en una máquina de vapor fuese un ciclo de Carnot, el diagrama P-V sería ligeramente distinto al ideal, ya que se producen procesos de evaporación y condensación, durante los cuales la presión y la temperatura permanecen constantes, describiendo una especie de "compens" (1)



Para que una máquina térmica pudiese realizar este ciclo, tendría que detener la condensación del vapor en el punto D y comprimir de forma adiabática el vapor y el líquido hasta que alcanzase la temperatura y presión de la caldera, lo cual, resulta técnicamente imposible.

Por ello, el escocés J.M. Rankine propuso una modificación del ciclo, que se conoce como el ciclo de Rankine, que si no posee sobrecalentamiento consta de:



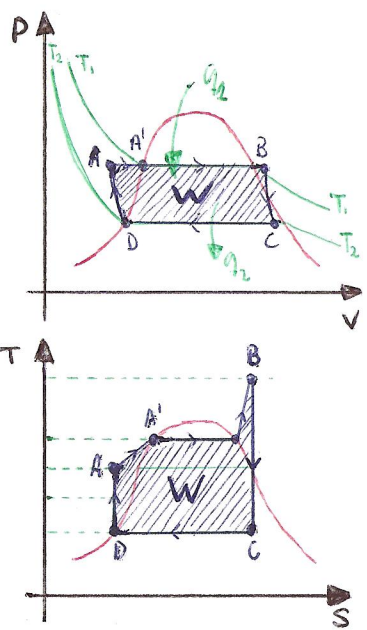
1. El agua líquida de la caldera (A), absorbiendo calor del hogar, eleva, a presión cte, su temperatura hasta (A'). Después, manteniendo constantes la presión y la temperatura, se transforma reversiblemente en vapor seco y saturado (B).

2. El vapor saturado se expande adiabáticamente en el interior de la máquina, hasta alcanzar la temperatura menor (T2) en (C), produciendo un trabajo positivo.

3. Prosigue la condensación a temperatura constante y presión constante, hasta que se forma líquido saturado en (D).

4. El líquido saturado se comprime reversiblemente, de forma adiabática, hasta alcanzar la temperatura y presión de la caldera (A), completando el ciclo.

CICLO DE RANKINE CON SOBRECALENTAMIENTO



El ciclo de Rankine con sobrecalentamiento, se produce al incrementar la temperatura del fluido motor cuando está completamente vaporizado, aportando calor desde la caldera, para que, a presión constante, suba de temperatura.

El sobrecalentamiento produce un aumento de la superficie del ciclo, lo que mejora el rendimiento, pero la principal razón por la que se realiza, es porque permite que el vapor se mantenga seco durante gran parte de la expansión adiabática, evitando que se produzca corrosión interna, debido al vapor húmedo.

9.2. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI)

Las dos causas que limitan el rendimiento de los MCI, son la imposibilidad de alcanzar tas muy altas debido al aumento de presión; y el bajo rendimiento de los combustibles como el carbón.

El fundamento de los MCI es que el agente motor es el propio combustible, mezclado con aire, que circula sólo una vez y no vuelve a su estado inicial. Como los gases expulsados son distintos de la mezcla introducida al cilindro, es un proceso irreversible, aunque para poder estudiarlo lo consideraremos cíclico y reversible.

Existen varios tipos de MCI: alternativas, rotativos, de dos tiempos, de cuatro tiempos, etc... pero sobre todo se diferencian entre:

- MEP: motores de encendido provocado
- MEC: motores de encendido por compresión.

9.2.2. Motores de explosión o de encendido provocado

El de uso más común es el motor de cuatro tiempos de gasolina, compuesto por:

- Injector: dispositivo mecánico o electrónico que se encarga de inyectar la gasolina en el cilindro o el conducto de admisión. Los motores antiguos usaban un carburador para mezclar.
- Cilindro: constituido por el cuerpo de la bomba, con un émbolo y dos válvulas (admisión y escape) y una biela, es donde tiene lugar la combustión, originándose un movimiento alternativo del émbolo, unido a la biela y ésta al cigüeñal.
- Válvulas: permiten la entrada de mezcla combustible y la salida de los gases de la combustión. Situadas en la culata, están accionadas por un muelle que las mantiene cerradas, y por una leva, que las abre hacia el interior. Ésta forma parte del árbol de levas, que está unido al cigüeñal, de forma que sincroniza la apertura y cierre.
- Biela: situada en la parte superior del cilindro, produce una chispa que combustiona la mezcla comprimida.

- Órganos transformadores del movimiento: biela-manivela y cigüeñal, transforman el movimiento alternativo del pistón, en movimiento circular. El conjunto se encierra en el ~~carter~~ bastidor o carter, que protege y lubrica a los elementos que contiene.

- Culata: cierra el cilindro en la zona de combustión, dado las elevadas temperaturas, es necesario un sistema de refrigeración por aire o por agua.

Los parámetros que caracterizan estos motores son:

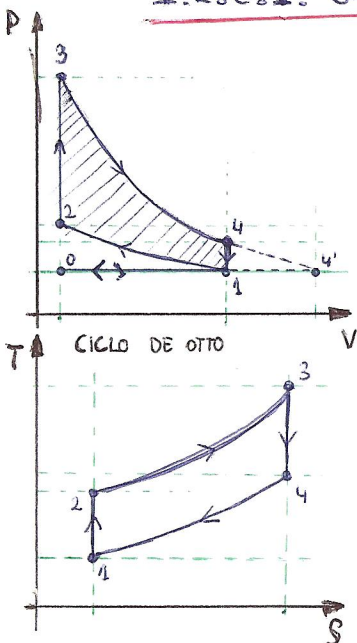
- Carrera: es la distancia entre el PMS y el PMI

- Cilindrada: es el volumen del cilindro en el PMI: $V_1 = \pi r^2 \cdot \overbrace{(\text{PMS} - \text{PMI})}^{\text{Carrera}}$

- Relación de compresión: es la relación entre el volumen entre volúmenes: $r = \frac{V_1}{V_2} + 1$

- Rendimiento: es la relación entre la potencia útil y la consumida: $\eta = \frac{P_u}{P_T}$

9.2.d.I. Ciclo de Otto



El comportamiento de un motor de explosión de cuatro tiempos se aproxima al de una máquina térmica que siga el ciclo de Otto, suponiendo que lo efectúa un gas ideal con dos procesos adiabáticos y dos procesos isocóros.

1º tiempo: Admisión (0-1); bajo el pistón, se abre la válvula de admisión y entra por aspiración la mezcla de combustible y oxígeno.

2º tiempo: Compresión (1-2); se cierra la válvula y sube el pistón, comprimiendo adiabáticamente la mezcla.

3º tiempo: Explosión-expansión (2-3 y 3-4); Al alcanzar la máxima compresión, en el PMS, la bujía suelta una chispa que produce la combustión de la mezcla, y provoca la bajada del pistón.

4º tiempo: Escape (4-1; 4-0); se abre la válvula de escape y el pistón sube expulsando los gases.

Solo se produce trabajo en el tercer tiempo, y es almacenado en el volante de inercia, de donde se extrae el necesario para realizar los otros tiempos. Los motores que usan gasolina, son de 4, 6 o más pistones.

El rendimiento del ciclo de Otto viene dado por:

$$R = \text{grado de compresión} = \frac{V_1 (\text{PMS})}{V_2 (\text{PMI})}$$

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

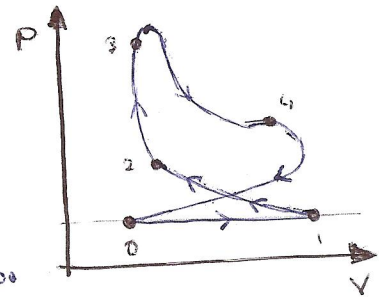
$\gamma = \text{coef. adiabático}$.

Existe un límite por encima del cual es mezcla explosiva espontáneamente, denominado: nivel de autoignición. Este fenómeno de detonación daña el motor y disminuye el rendimiento, por lo que es necesario añadir antidetonantes o catalizadores.

Las razones por las que los motores de gasolina poseen bajo rendimiento son:

- La combustión no suele ser completa
- Existe intercambio de calor con las paredes del pistón.
- La combustión no es instantánea

Esto se traduce en un comportamiento alejado del teórico



9.2.2.II. Motores de explosión de dos tiempos

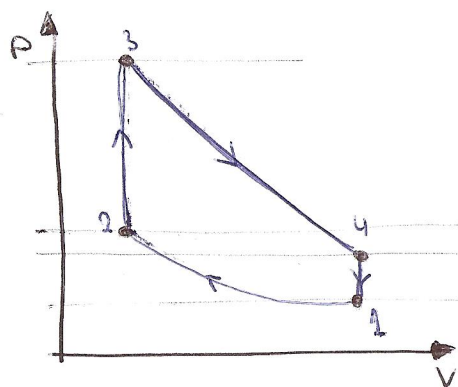
Estos motores recorren el ciclo con dos carreras del émbolo, carecen de válvulas y levas y la admisión y salida de gases se produce mediante lumbreras o orificios situados en la pared del cilindro, que son cerrados y descubiertos por el pistón durante su carrera. El cárter comunica con el cilindro a través de la lumbrera de transferencia.

1º tiempo: El pistón, en el PMI, comienza a bajar debido a la explosión de la mezcla, hasta que deja al descubierto la lumbrera de escape, por lo que salen los gases. Según continúa bajando, despeja la lumbrera de transferencia, por lo que entra la mezcla que ha comprimido en el cárter.

2º tiempo: El pistón comienza a subir desde el PMI, cerrando las lumbreras de escape y transferencia, comprimiendo la mezcla y permitiendo la entrada de ésta en el cárter, hasta llegar al PMS, donde la bajía produce una chispa que detona la mezcla.

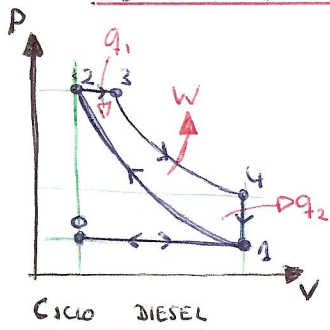
El rendimiento mecánico de estos motores es menor que el de cuatro tiempos y experimentan un mayor desgaste.

El ciclo de este motor se diferencia del de Otto en que no existen los pasos (0-1, 1-0)



motor gasolina de 2 tiempos

9.2.b. Motores de combustión o de encendido por compresión o m. diésel (MEC)



El ciclo de Otto está limitado por el nivel de autoignición, pero si se comprime solo aire y se inyecta el combustible adecuado se obtienen rendimientos mayores, donde se produce una combustión progresiva, no explosión como ocurre en los motores diésel. En estos motores no existe carburador ni bujía.

El motor admite aire puro a presión atmosférica (0-1) y lo comprime adiabáticamente (1-2). Al alcanzar el PMS se inyecta el gasóleo, que se inflama y mueve el émbolo (2-3), con el flujo de gasóleo y se expansiona adiabáticamente (3-4). En el PMI se abre la válvula de escape (4-1) y el émbolo sube para expulsar los gases y reiniciar el ciclo (1-0)

$$\eta = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}} \left(\frac{R_0^{\gamma} - 1}{\gamma(R_0 - 1)} \right)$$

El rendimiento depende de:

- R: es relación de compresión

- γ : coef. adiabático.

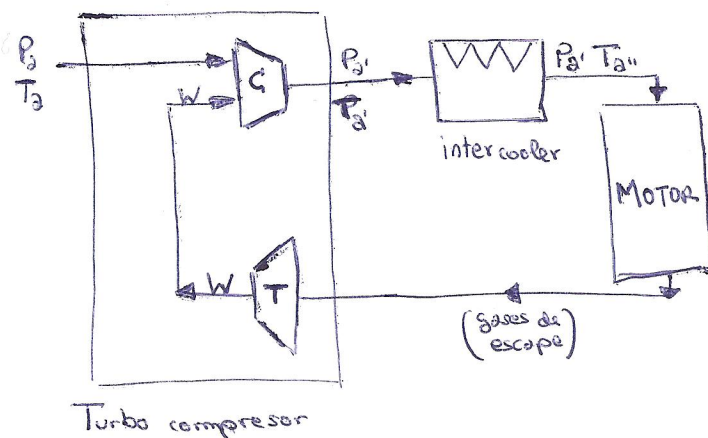
- R_0 : relación entre el volumen de la mezcla y la recámara.

El ciclo real difiere del teórico por las mismas causas que el C. de Otto. Los motores diésel son muy utilizados por su buen rendimiento y asequibilidad del combustible.

9.2.c. Sobrealimentación.

Es un sistema para incrementar la potencia de los motores (MCI) que consiste en aumentar la cantidad de mezcla admitida en el cilindro aumentando la presión del aire o de la mezcla combustible. Para ello se pone un compresor accionado por una turbina movida por los gases de escape del motor, este dispositivo se denomina: turbo compresor

Como los gases se calientan y no es conveniente para aumentar la potencia, se instala un intercambiador de calor a la salida del turbo compresor para reducir la temperatura con la que entran los gases o mezcla al motor; se llama: intercooler

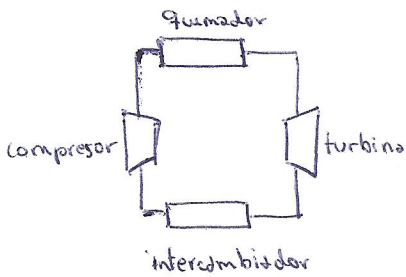


$$T_{2'} > T_{2''}$$

$$P_2 < P_{2'}; T_2 < T_{2'}$$

9.3 MCE con movimiento rotativo

En la turbina de vapor, el vapor de agua actúa directamente sobre las paletas de una rueda, haciéndola girar a gran velocidad. Posee un mayor rendimiento que la máquina de vapor, al carecer de mecanismos de transformación del movimiento. El esquema básico de funcionamiento y el ciclo de Rankine, son idénticos al de la máquina de vapor.



Se utilizan para la generación de energía eléctrica en lugares como: centrales eléctricas, buques, altos hornos, etc.. La ventaja de la reutilización del vapor en algunas industrias, supone un ahorro energético que hace que se extienda su uso.

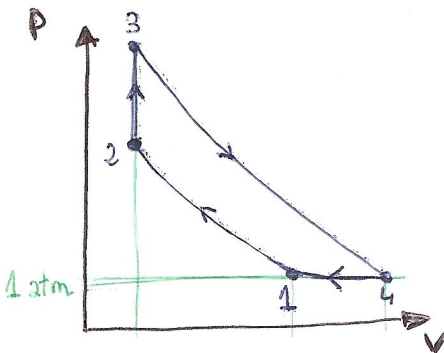
9.4. MCI con mov. rotativo

Son motores térmicos rotativos de combustión interna, por lo que no precisan de un fluido motor (vapor), y que pueden ser de explosión o de combustión. Resultan útiles por su geometría similar a hélices, en la propulsión de aviones y barcos.

9.4.2. Turbinas de explosión

Constituidas por un compresor, una o más cámaras de combustión y la turbina; poseen un funcionamiento que se basa en: admisión de aire hasta llenar el volumen de la cámara, introducción del combustible, explosión mediante chispa (incremento de la presión a volumen constante) y expulsión de los gases hacia los álabes de la turbina.

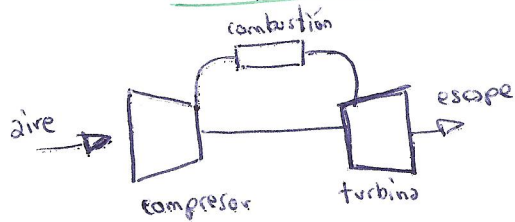
El ciclo termodinámico corresponde a un ciclo de Otto a expansión completa. Se suelen colocar varias cámaras provocando los escapes de manera alternativa.



CICLO DE OTTO A
EXPANSIÓN COMPLETA

9.4.b. Turbinas de combustión

Constan de un compresor, una cámara de combustión y una turbina. El aire es aspirado de la atmósfera y comprimido, pasando a la cámara donde se inyecta el combustible que se autoinflama. Los gases calientes mueven la turbina, y el compresor, a demás de calentar el aire que entra, después son expulsados.



En ocasiones, los gases de expulsión se utilizan para generar vapor de agua que se utiliza en una turbina de vapor, creando máquinas de chorro (jet).

Las turbinas de combustión siguen un ciclo diesel con expansión completa, denominado ciclo de Brayton. Son utilizados en aviones y centrales eléctricas.

