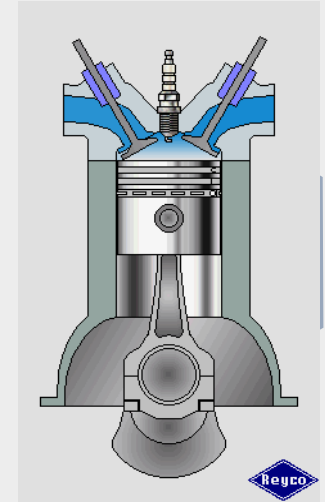




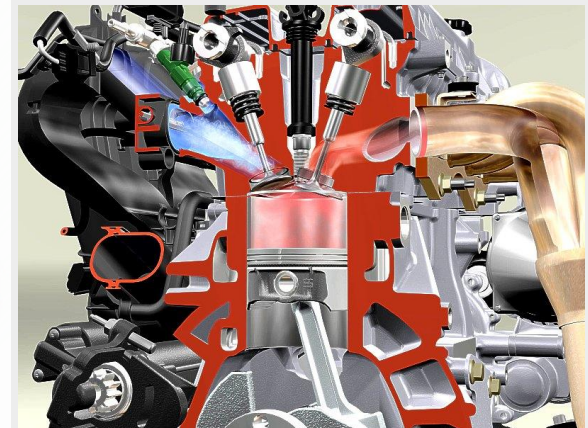
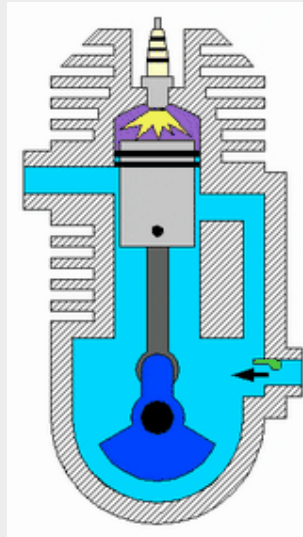
INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO
DEL AUSTRO

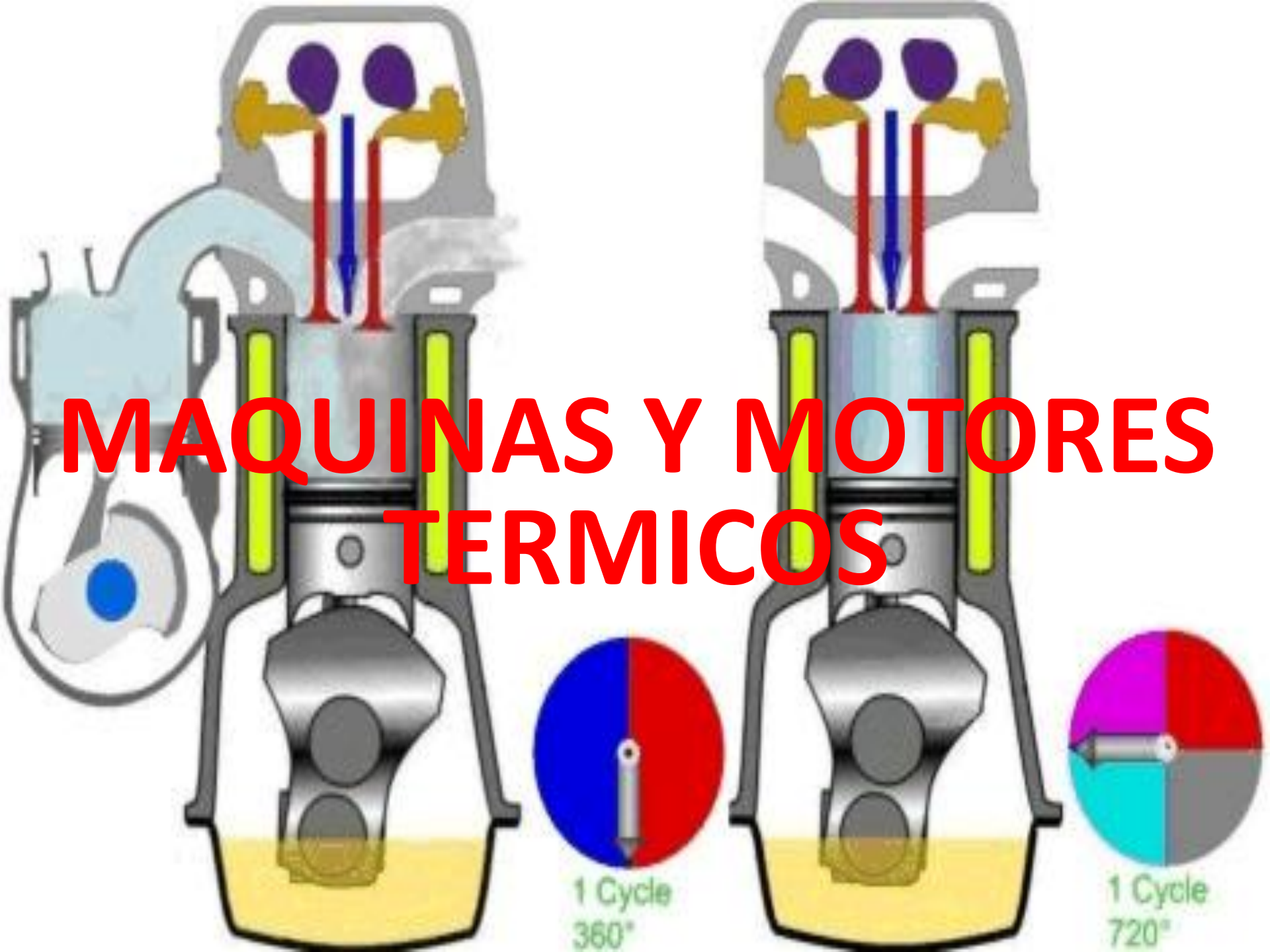
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA



Unidad 1: Principios termodinámicos y magnitudes fundamentales

Ing. Christian Ismael Montaleza Guamán, M.Sc.

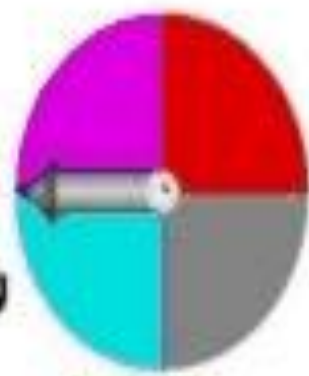




MAQUINAS Y MOTORES TERMICOS



1 Cycle
360°

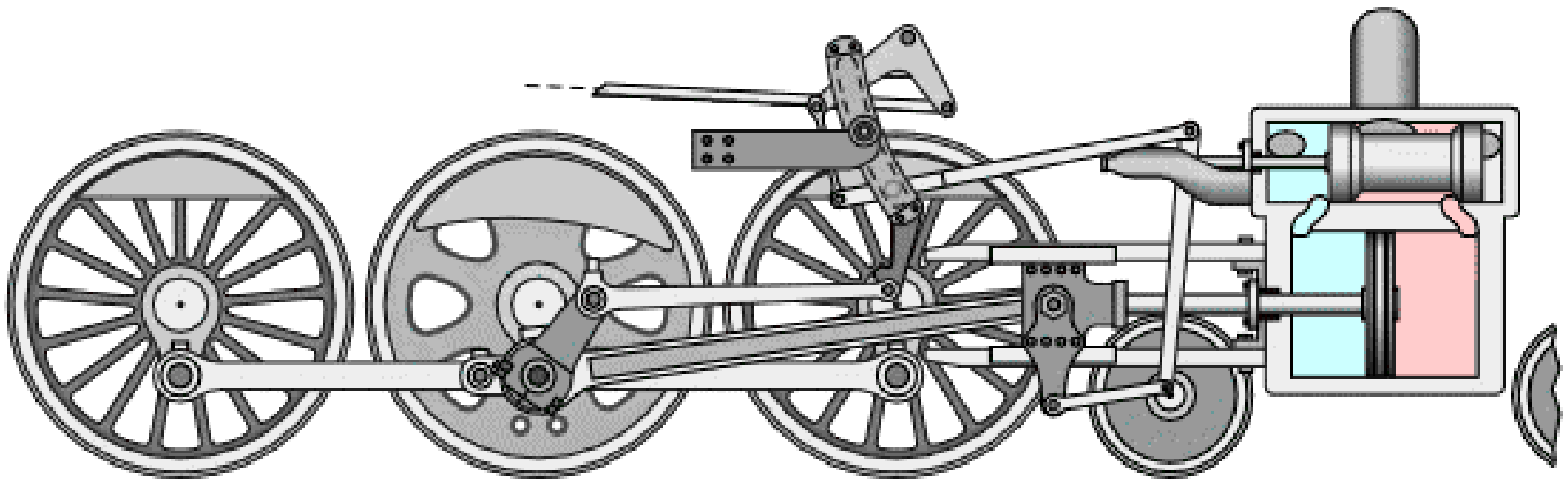


1 Cycle
720°

MAQUINAS Y MOTORES TERMICOS

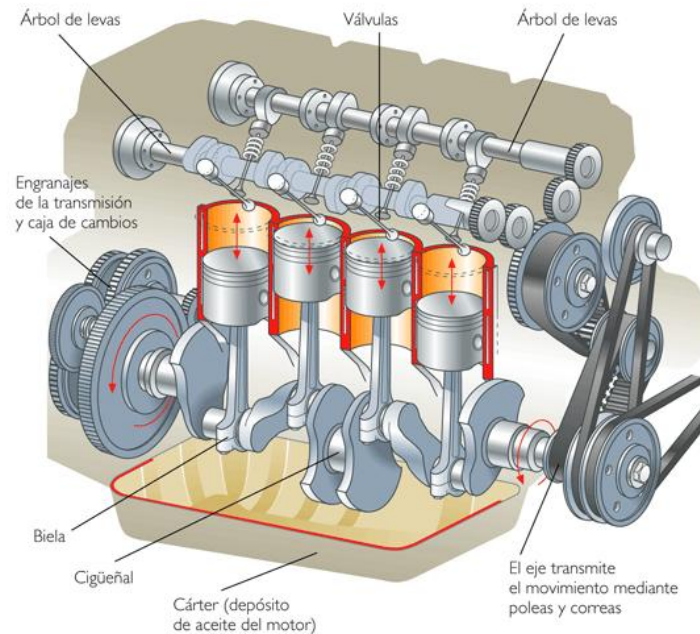
INTRODUCCIÓN

Aunque en algunas definiciones se identifican como sinónimos los términos “máquina térmica motora” y “motor térmico”, en otras se diferencian ambos conceptos.



INTRODUCCIÓN

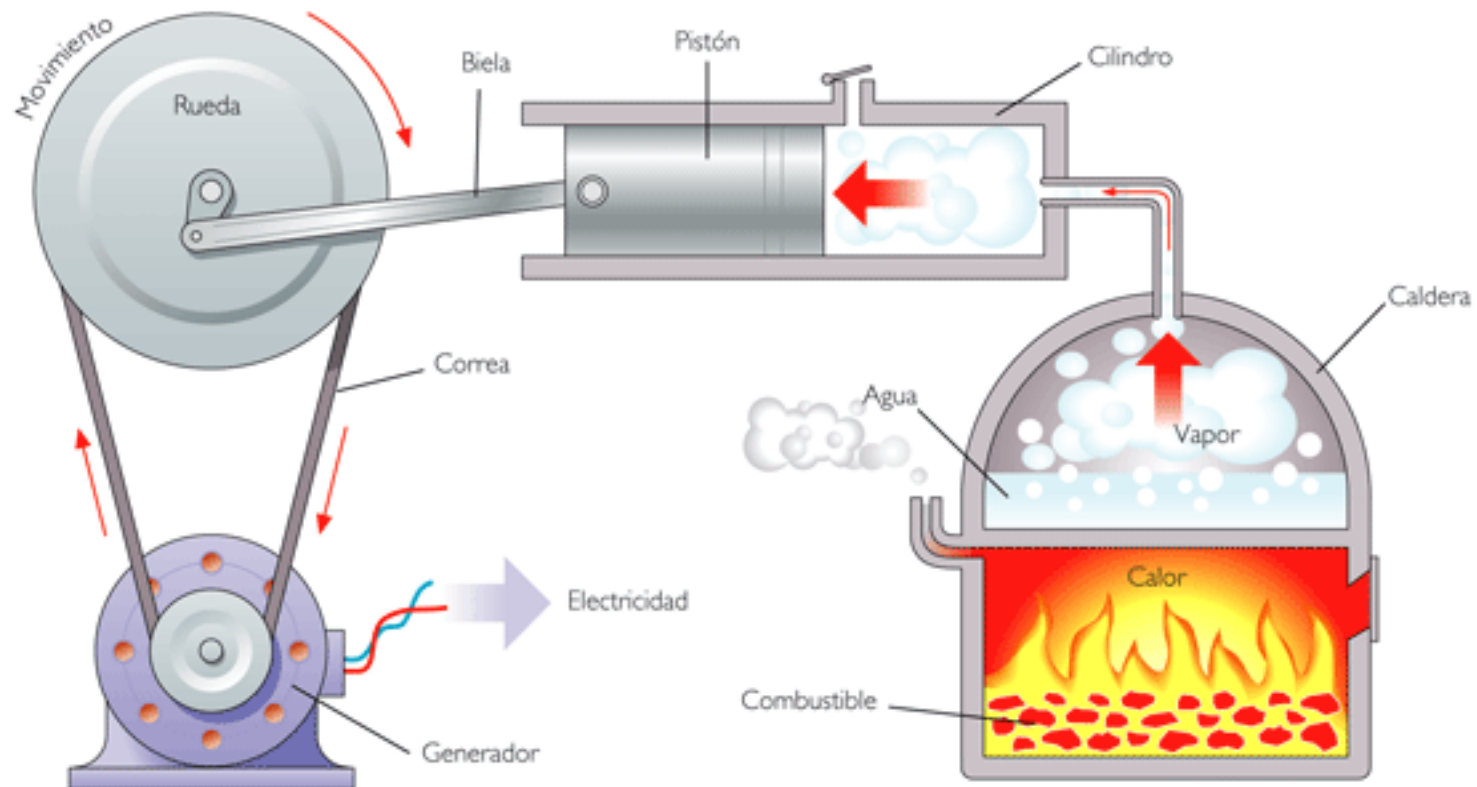
La diferencia, considera que un motor térmico es un conjunto de elementos mecánicos que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica obtenida mediante una reacción de combustión o una reacción nuclear.



MAQUINAS Y MOTORES TERMICOS

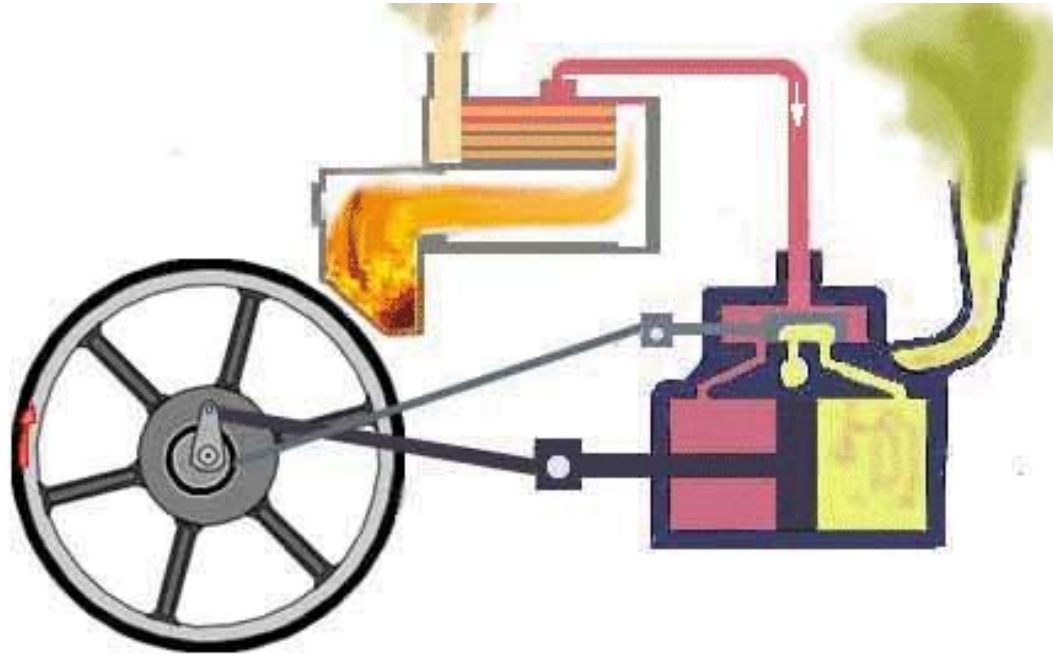
INTRODUCCIÓN

En cambio una máquina térmica motora necesita energía térmica para funcionar, mediante un fluido que dispone de más energía a la entrada que a la salida.



INTRODUCCIÓN

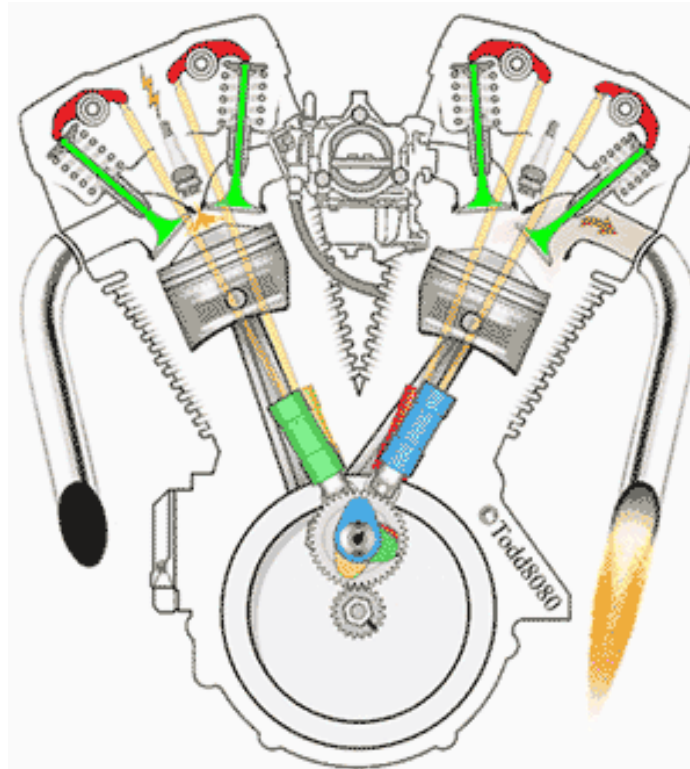
Si la combustión se realiza fuera de la máquina ó motor térmico se les denomina de combustión externa (ejemplo: máquina de vapor).



MAQUINAS Y MOTORES TERMICOS

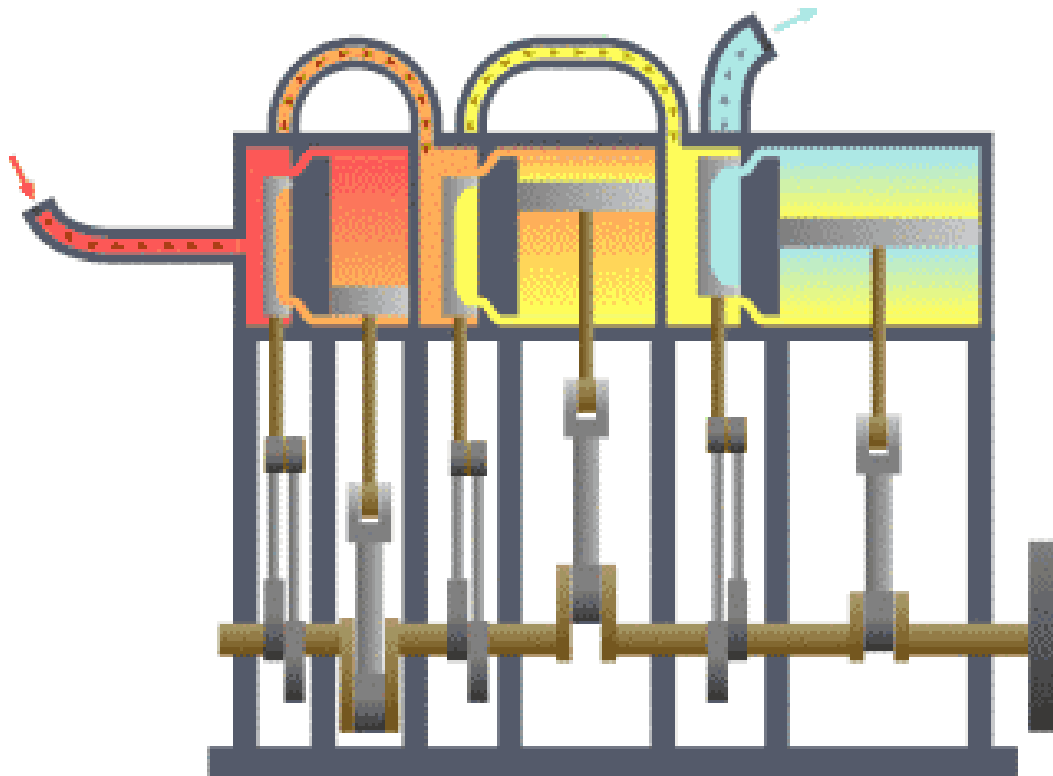
INTRODUCCIÓN

Si la combustión se realiza en el interior de la propia máquina ó motor térmico, se les denomina de combustión interna (ejemplo: motor de explosión).



INTRODUCCIÓN

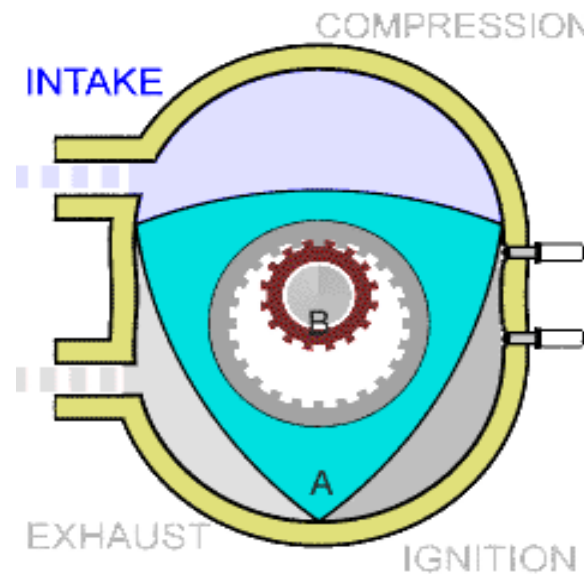
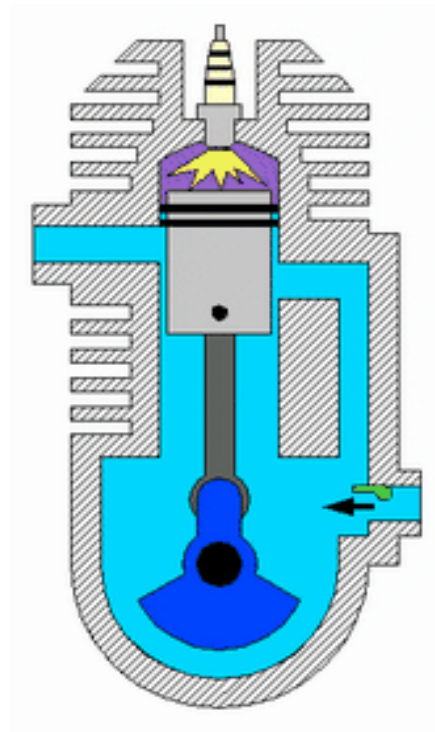
El fluido motor suele ser el vapor de agua (condensable), el aire (no condensable) o la mezcla de gases resultantes de la combustión violenta o provocada de derivados del petróleo o de ciertos gases combustibles, (denominado también fluido activo).



MAQUINAS Y MOTORES TERMICOS

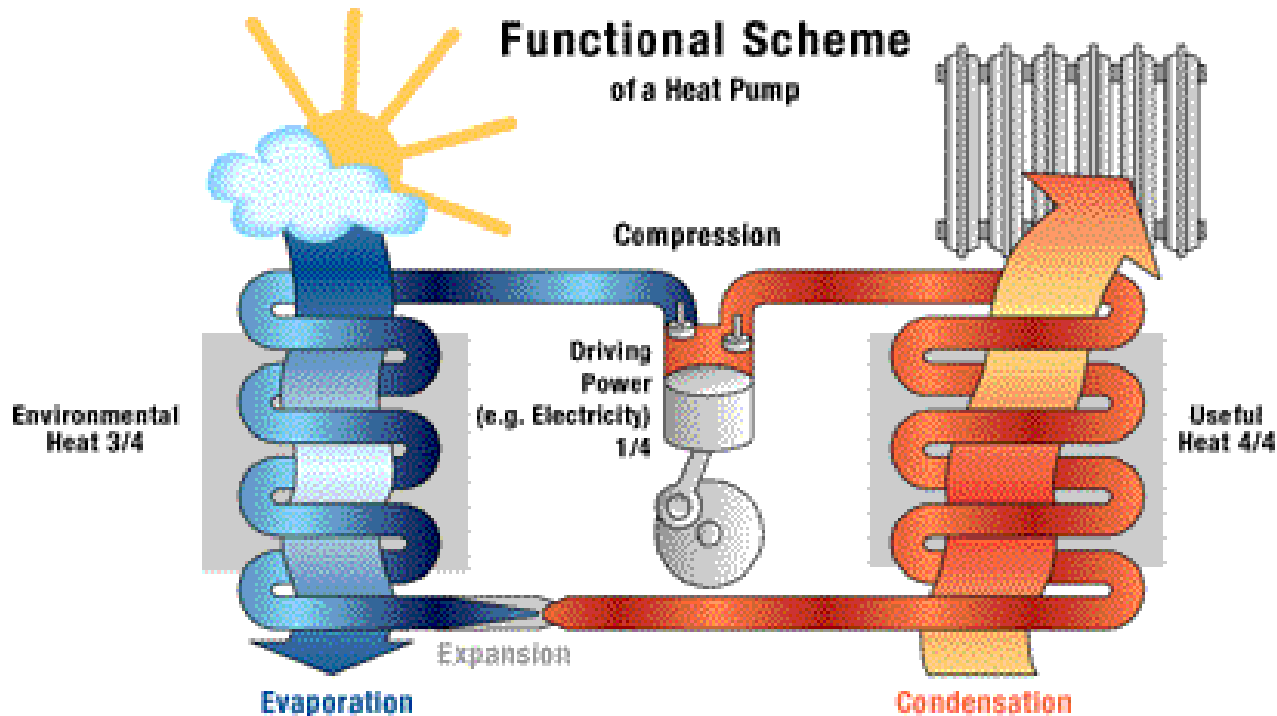
INTRODUCCIÓN

En cada uno de los casos el movimiento producido puede ser alternativo (máquinas de vapor, motores de explosión, motores de combustión, etc.) o rotativo (turbinas de vapor, turbinas de explosión, turbinas de combustión, etc.).



INTRODUCCIÓN

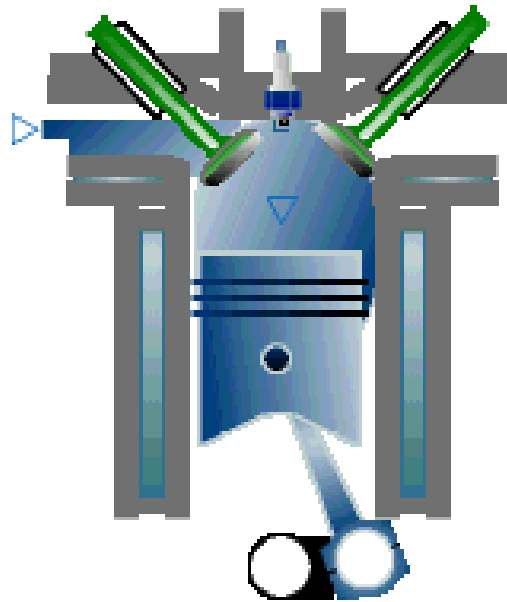
Para el estudio de esta materia nos centraremos únicamente en los motores de combustión interna y los motores de combustión externa (Vapor) serán estudiados por el estudiante como investigación individual.



MAQUINAS Y MOTORES TERMICOS

MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

Definición de Motor.- es una máquina que convierte la energía Termoquímica de un combustible, en energía mecánica, con la finalidad de producir un movimiento o trabajo mecánico.



ADMISIÓN

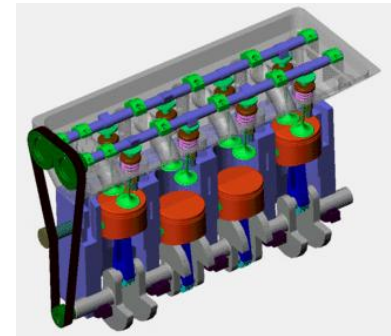
MOTORES TERMICOS

CLASIFICACION GENERAL

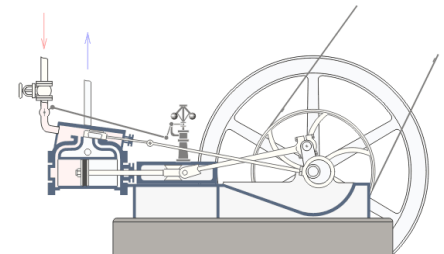
Los motores térmicos se clasifican según el tipo de energía que utilizan:

Según dónde tiene lugar la transformación de energía química a calor se llaman de combustión interna → Endotérmicos o de combustión externa → Exotérmicos.

Endotérmicos.- en estos motores la combustión se realiza dentro de la cámara de combustión, ejemplo: los de gasolina, diesel, gas, alcohol etc.



Exotérmicos.- en estos motores la combustión se efectúa fuera de la cámara de combustión, ejemplo: los motores a vapor, locomotoras, etc.

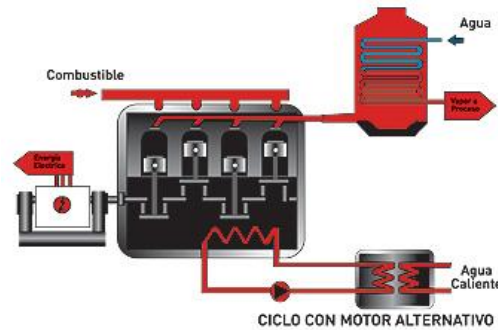


MOTORES TERMICOS

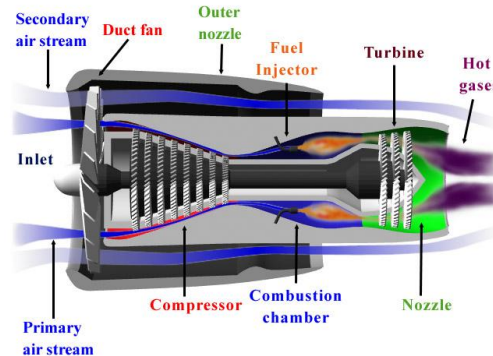
CLASIFICACION GENERAL

Según el tipo de movimiento de sus piezas principales los motores se clasifican en:

➤ Motores Alternativos



➤ Motores Rotativos

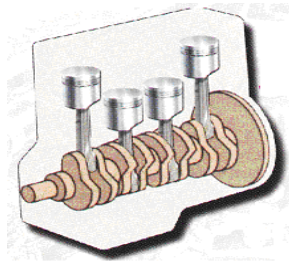


MOTORES TERMICOS

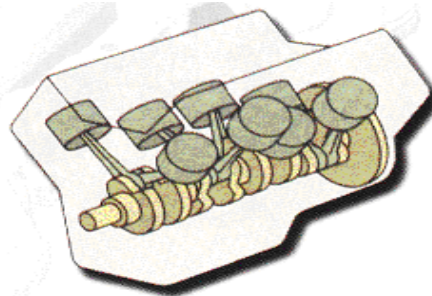
CLASIFICACION GENERAL

Según la posición de sus cilindros los motores se clasifican en:

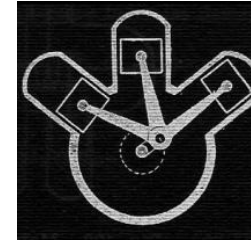
➤ Cilindros en línea.



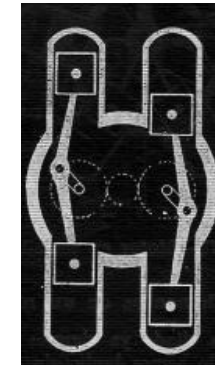
➤ Cilindros en V



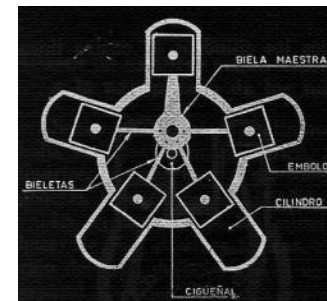
➤ Cilindros opuestos.



En W.



En H.



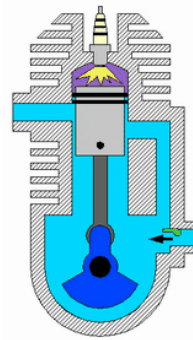
En Estrella

MOTORES TERMICOS

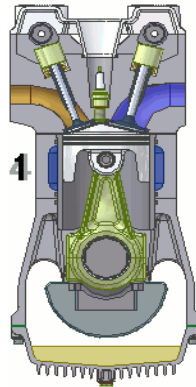
CLASIFICACION GENERAL

Según las fases por las que pasa el pistón para completar un ciclo, los motores se clasifican en:

➤ Motores de 2 Tiempos.



➤ Motores de 4 Tiempos.



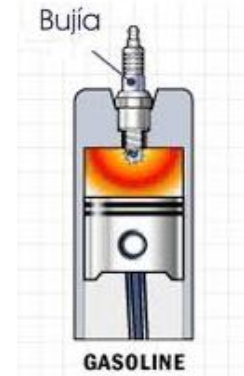
MOTORES TERMICOS

CLASIFICACION GENERAL

Según el tipo de encendido los motores se clasifica en:

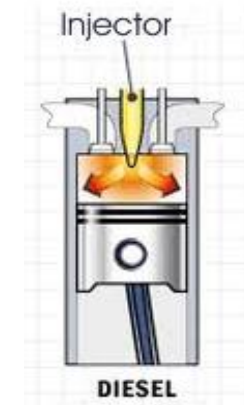
➤ Motores de Encendido Provocado (MEP) o (EB).

El encendido se efectúa por una chispa eléctrica de la bujía en una mezcla aire-combustible.



➤ Motores de Encendido por Compresión MEC (EC).

El encendido se efectúa por la alta compresión del aire en el cilindro y la inyección de un combustible sobre esta masa caliente de aire.



MOTORES TERMICOS

CLASIFICACION GENERAL

Los Motores de Encendido Provocado (MEP), se clasifican:

Según el combustible utilizado, en:

- ***Motores a Gasolina***
- ***Motores a Gas***
- ***Motores a Alcohol.***



Según la forma de la admisión del combustible, en:

- ***Motores a Carburador***
- ***Motores a Inyección***

MOTORES TERMICOS

CLASIFICACION GENERAL

Los Motores de Encendido Provocado (MEP), se clasifican:

Según el ciclo de funcionamiento, en:

- *Motores de 2 tiempos.*
- *Motores de 4 tiempos.*

Según la forma de refrigerar, en:

- *Motores refrigerados por aire*
- *Motores refrigerados por líquidos.*



MOTORES TERMICOS

CLASIFICACION GENERAL

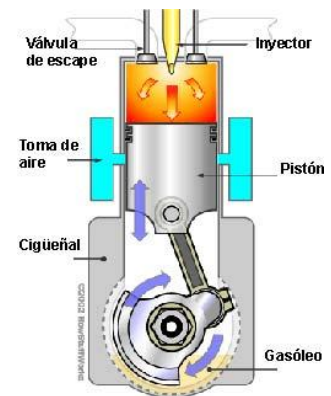
Los Motores de Encendido por Compresión (EC) se clasifican, en:

Según el régimen de trabajo

- **Motores Lentos → bajo las 300 rpm, (extra grandes – barcos).**
- **Motores Medios entre 400 a 1000 rpm (estacionarios etc.).**
- **Motores Rápidos de 1500 rpm en adelante (camiones etc.).**

Según la forma de la admisión del combustible, en:

- **Motores de Inyección Directa**
- **Motores de Inyección Indirecta.**



MOTORES TERMICOS

CLASIFICACION GENERAL

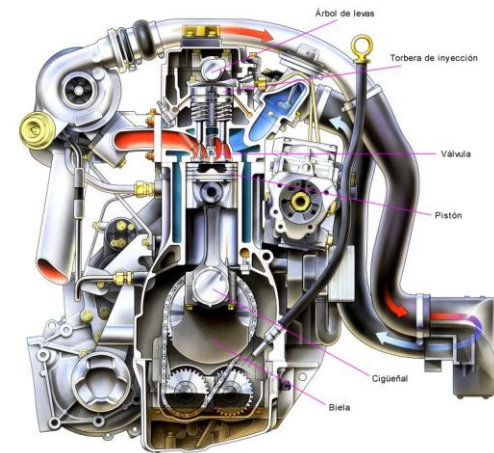
Los Motores de Encendido por Compresión (EC) se clasifican, en:

Según el ciclo de funcionamiento, en:

- **Motores de 2 tiempos (sobrealimentados),**
- **Motores de 4 tiempos (atmosféricos, y sobrealimentados).**

Según la forma de refrigerar, en:

- **Motores refrigerados por aire.**
- **Motores refrigerados por líquidos.**

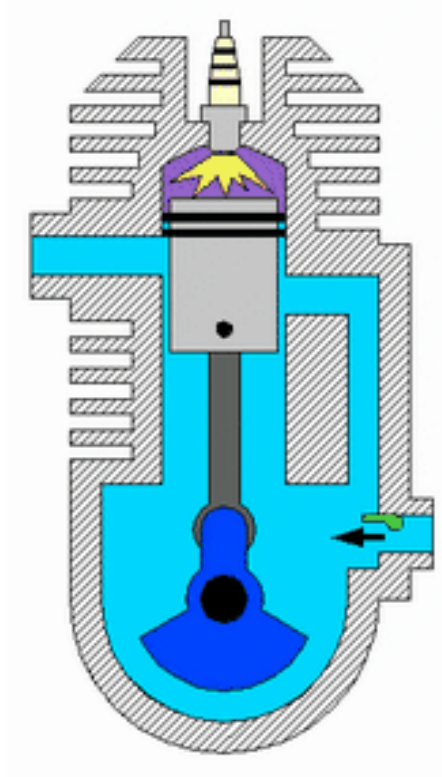


A detailed photograph of a two-stroke engine, likely a Honda model, shown from a side-front perspective. The engine features a prominent cooling finned cylinder, a carburetor at the top right, and a black air filter housing at the top left. Various black hoses and wires are connected to the engine. The text "EL MOTOR DE DOS TIEMPOS" is overlaid in large red letters across the center of the image.

EL MOTOR DE DOS TIEMPOS

MOTOR DE DOS TIEMPOS

El motor de 2 tiempos, es un motor de combustión interna que realiza las cuatro etapas del ciclo termodinámico (admisión, compresión, expansión y escape) una vuelta del cigüeñal o sea en dos movimientos lineales del pistón.



MOTOR DE DOS TIEMPOS

- Por lo general los motores de dos tiempos son contruidos con un solo cilindro, principalmente para motocicletas y motores portátiles.



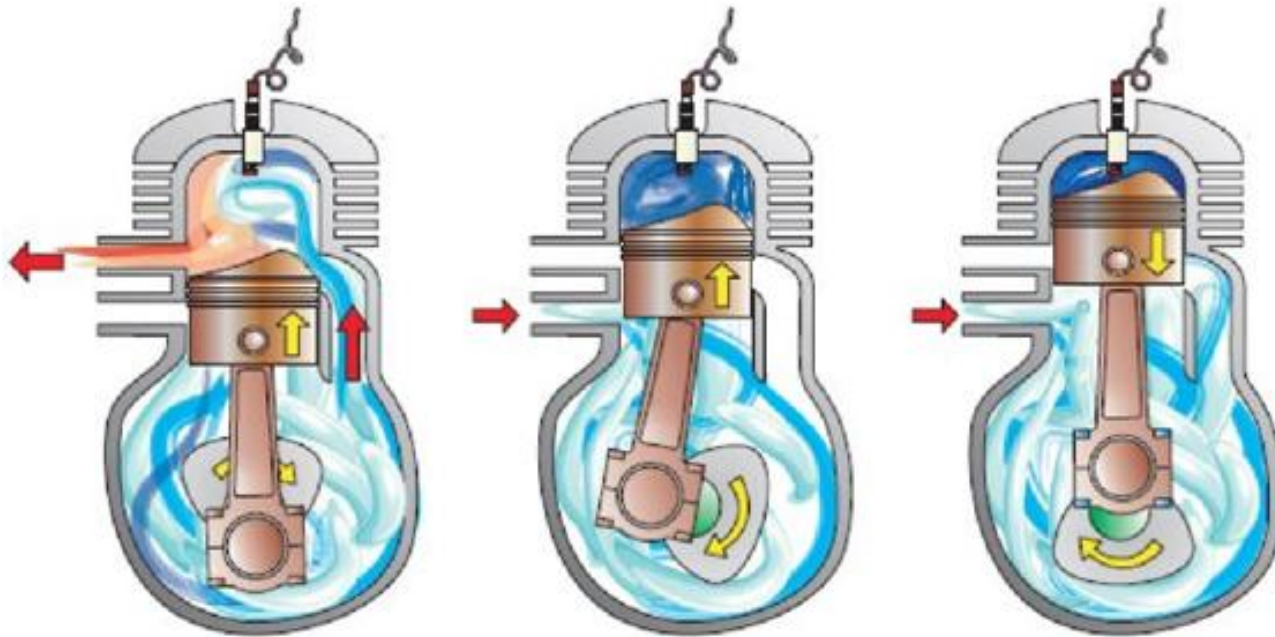
MOTOR DE DOS TIEMPOS

- Cuando los motores de 2 tiempos poseen varios cilindros se emplean para motocicletas pesadas y en pocos casos para vehículos de turismo.



CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

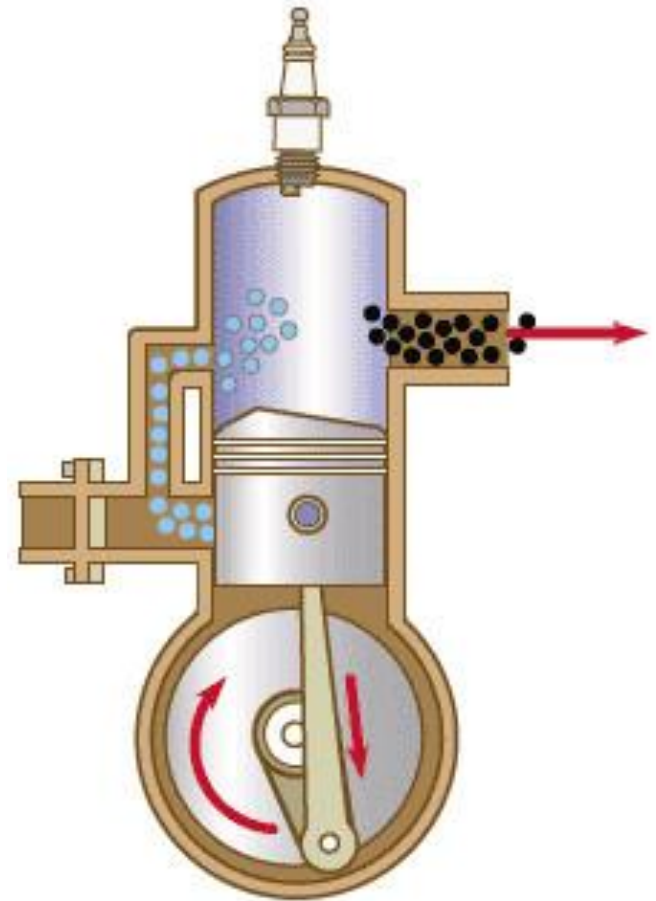
- Este motor se diferencia en su construcción del motor de 4 tiempos en las siguientes características:
- Ambas caras del pistón realizan una función diferente de manera simultáneamente.



CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

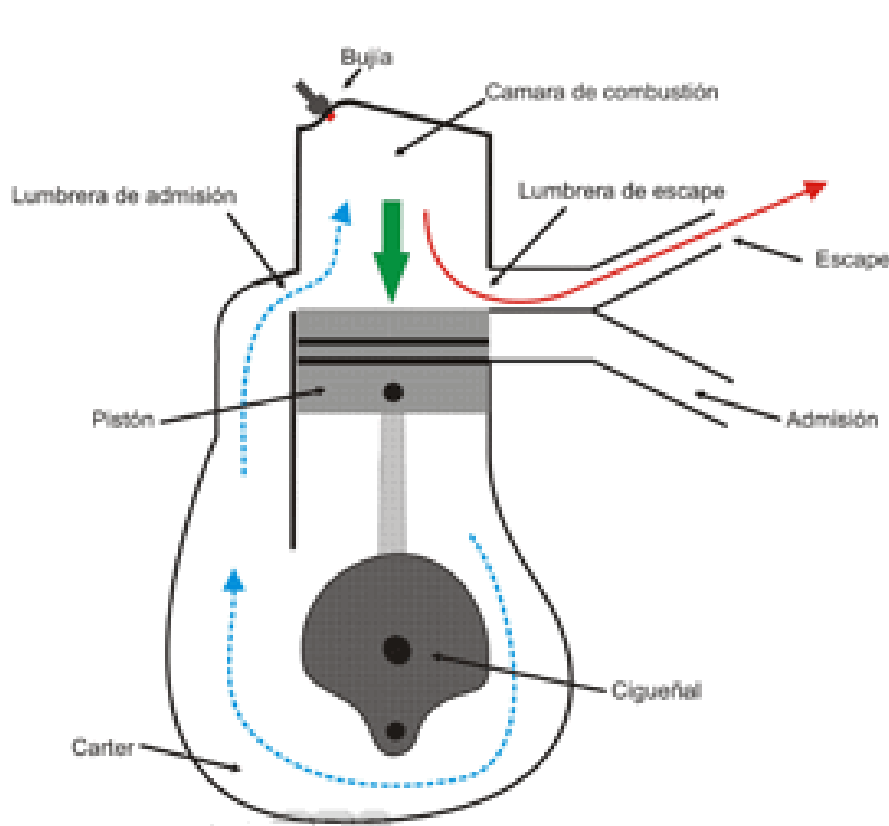
- La entrada y salida de gases al motor se realiza a través de las lumbreras (orificios situados en el cilindro).

Como carece de las válvulas el pistón dependiendo de la posición que ocupa en el cilindro en cada momento abre o cierra el paso de gases a través de las lumbreras.



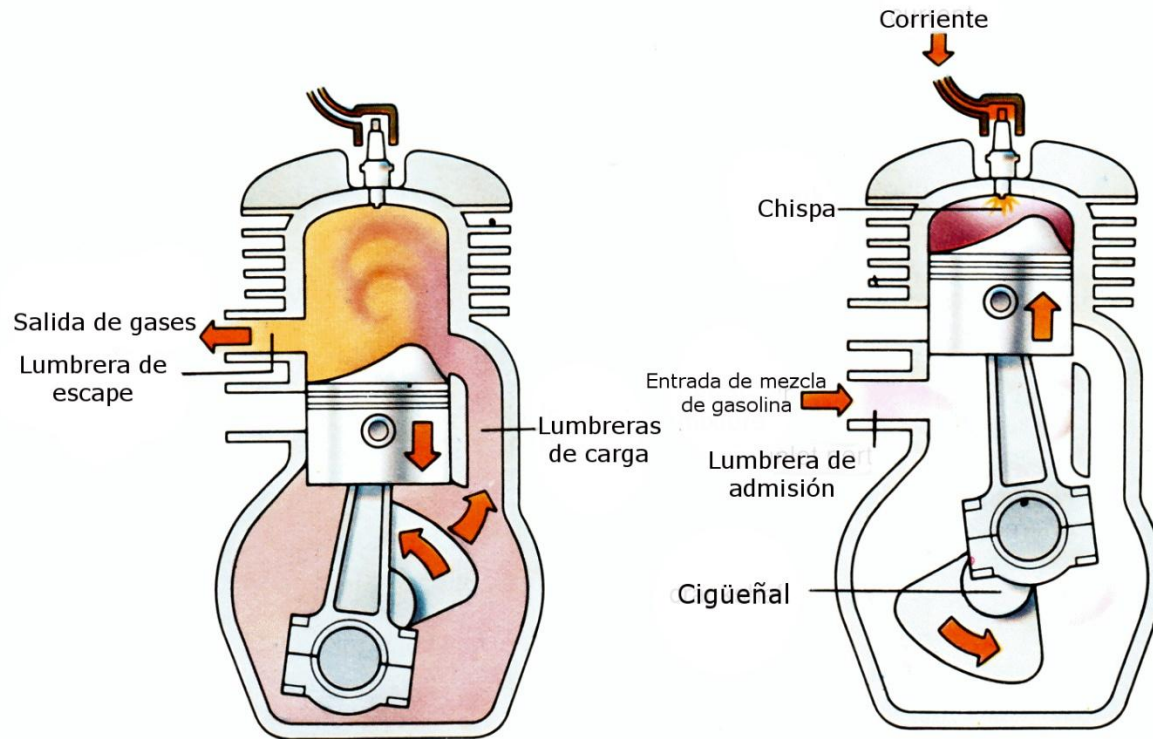
CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

- El cárter del cigüeñal debe estar sellado y cumple la función de cámara de precompresión, (en cambio en el motor de 4 tiempos, el cárter sirve de depósito de lubricante).



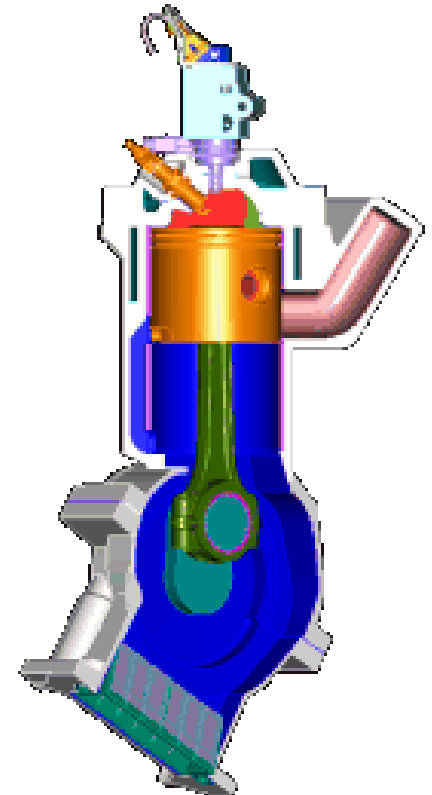
CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

- La lubricación se consigue mezclando aceite con el combustible y como esta mezcla llega, a estar en contacto con todas las partes móviles del motor se consigue la adecuada lubricación.



FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE 2 TIEMPOS

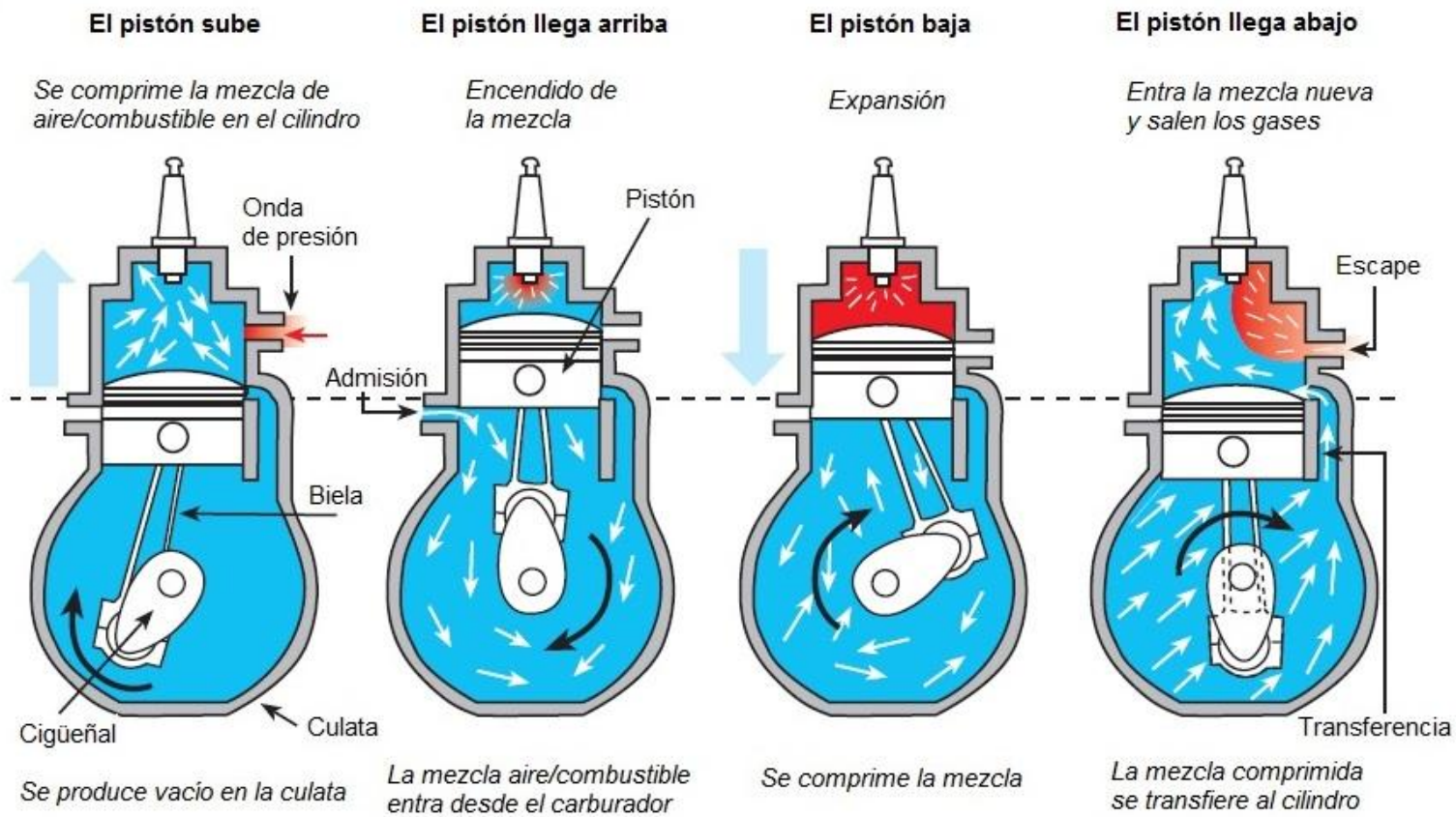
- Como este motor no tiene válvulas el cambio de gas lo hace generalmente por medio del pistón y a través de lumbreras dispuestas en la pared del cilindro.



FUNCIONAMIENTO



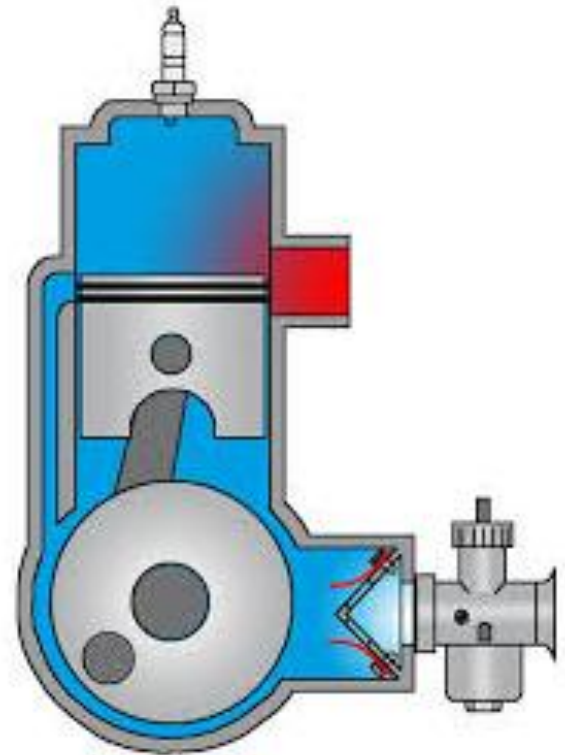
m



FUNCIONAMIENTO

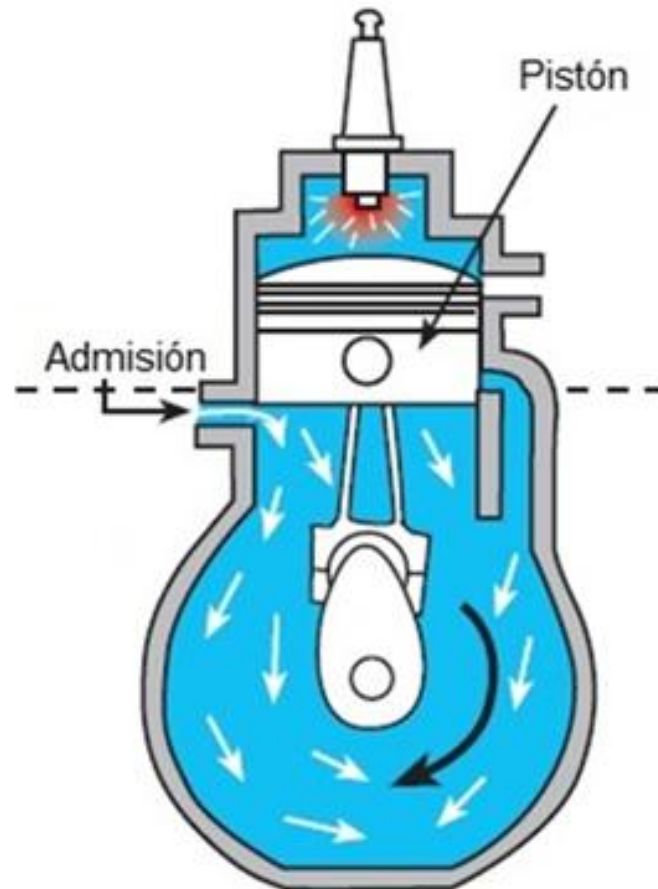
- El ciclo de trabajo (aspiración, compresión, trabajo y escape) es fundamentalmente el mismo que en el motor de 4 tiempos.

Pero la diferencia radica en el proceso de los distintos sucesos en cuanto a localización y en cuanto a tiempo.



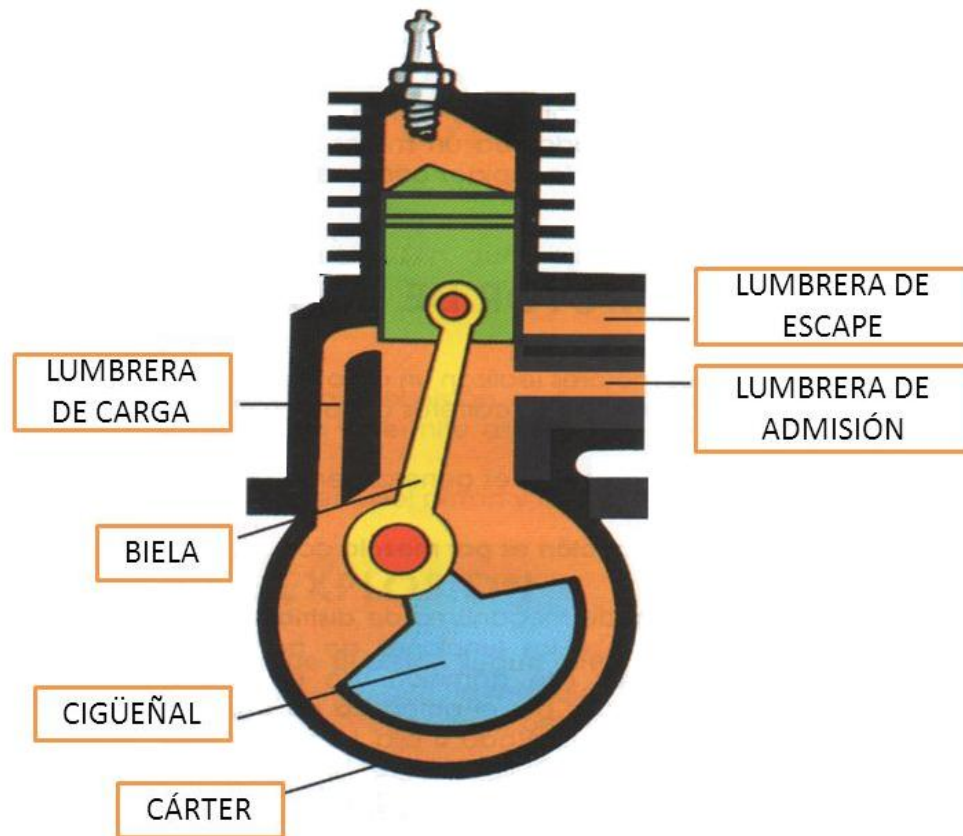
FUNCIONAMIENTO

- En este motor, la parte inferior del cilindro trabaja conjuntamente con el cárter y el pistón formando una bomba.



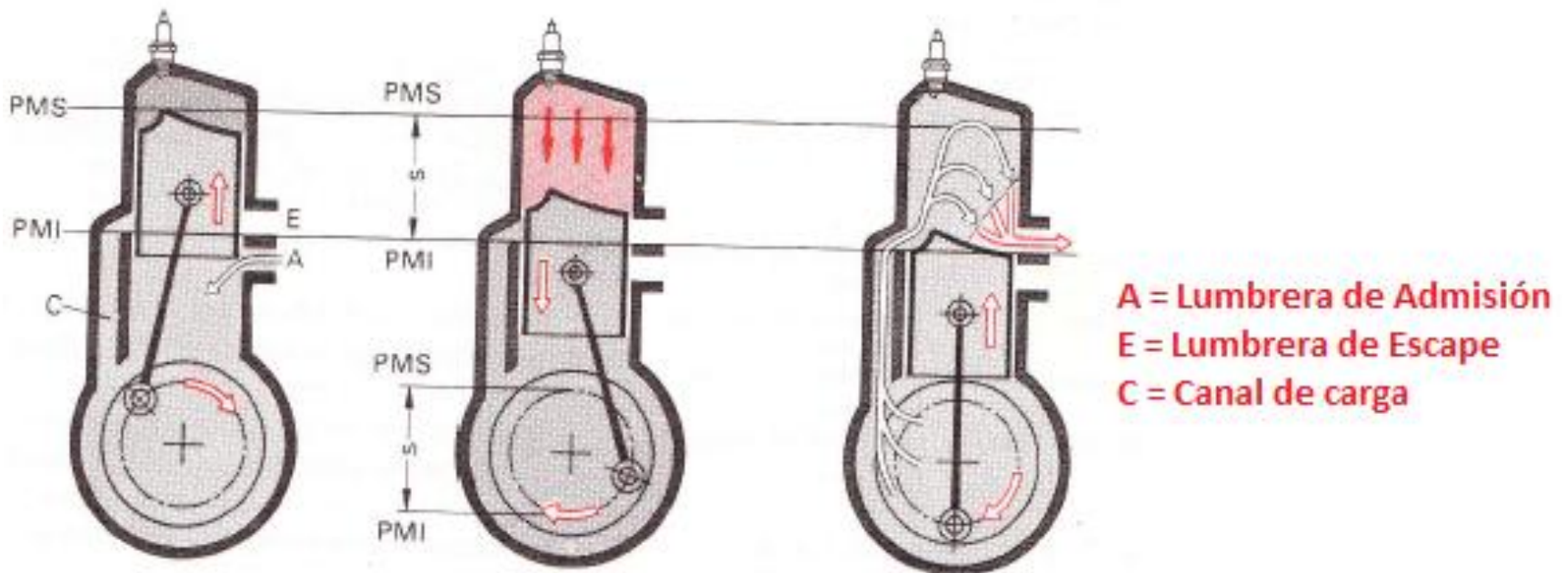
FUNCIONAMIENTO

- El motor de 2 tiempos más sencillo que se construye es el de tres canales con pistón con deflector, este posee una lumbrera de admisión, una de escape y otra de carga.



FUNCIONAMIENTO

- La lumbrera de admisión viene del carburador y va al cárter.
- La lumbrera de escape conduce a la tubería de escape.
- La lumbrera de carga pone en comunicación el cárter con el cilindro.



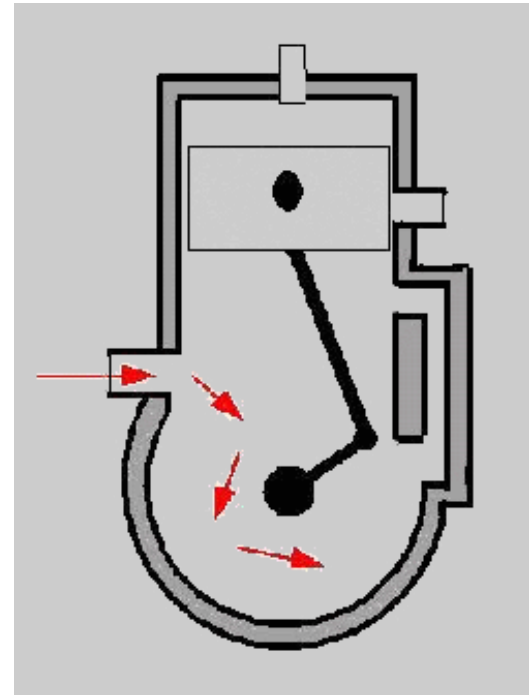
PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMI AL PMS

(Procesos en el cárter)

- Una vez que el pistón ha cerrado la lumbrera de carga, en el cárter se produce una depresión de 0,2 a 0,4 bar a causa del aumento de volumen.

Este proceso se denomina preadmisión o preaspiración.

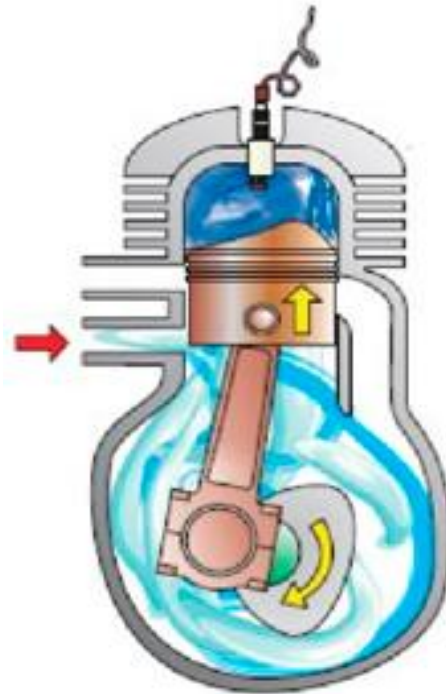


PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMI AL PMS

(Procesos en el cárter)

- Luego el pistón descubre la lumbrera de admisión, y comienza el ingreso de la mezcla combustible/aire para el siguiente ciclo.



PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMI AL PMS

(Procesos en el cilindro)

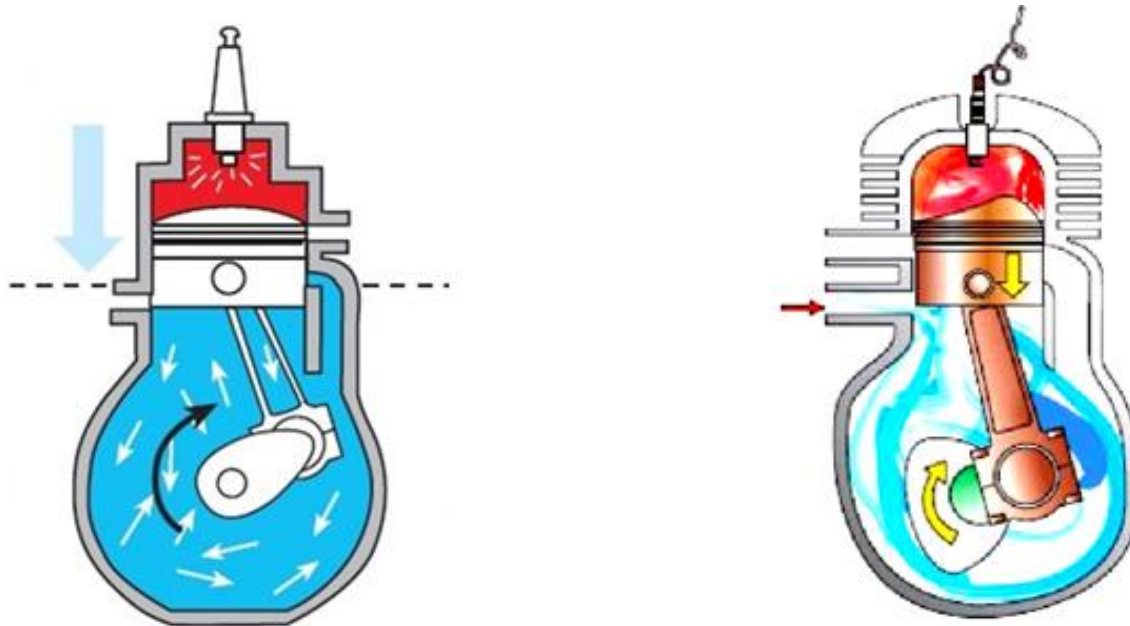
- Una vez que el pistón cierra la lumbrera de escape, comienza en el cilindro la compresión de la mezcla combustible/aire y un poco antes de llegar al PMS se produce el encendido.



PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMS AL PMI (Procesos en el cilindro)

- Durante la expansión, la presión de los gases de la combustión mueve el cilindro del PMS al PMI.

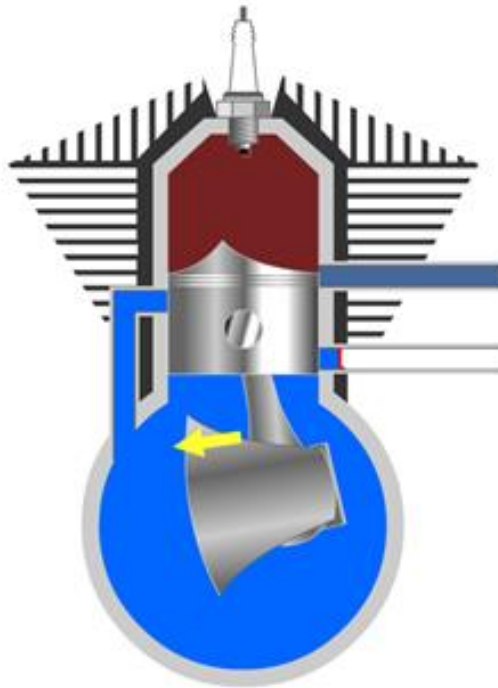


PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMS AL PMI

(Procesos en el carter)

- Cuando el pistón ha cerrado la lumbrera de admisión, comienza la precompresión de la mezcla combustible/aire a 0,3 a 0,6 bar aproximadamente.

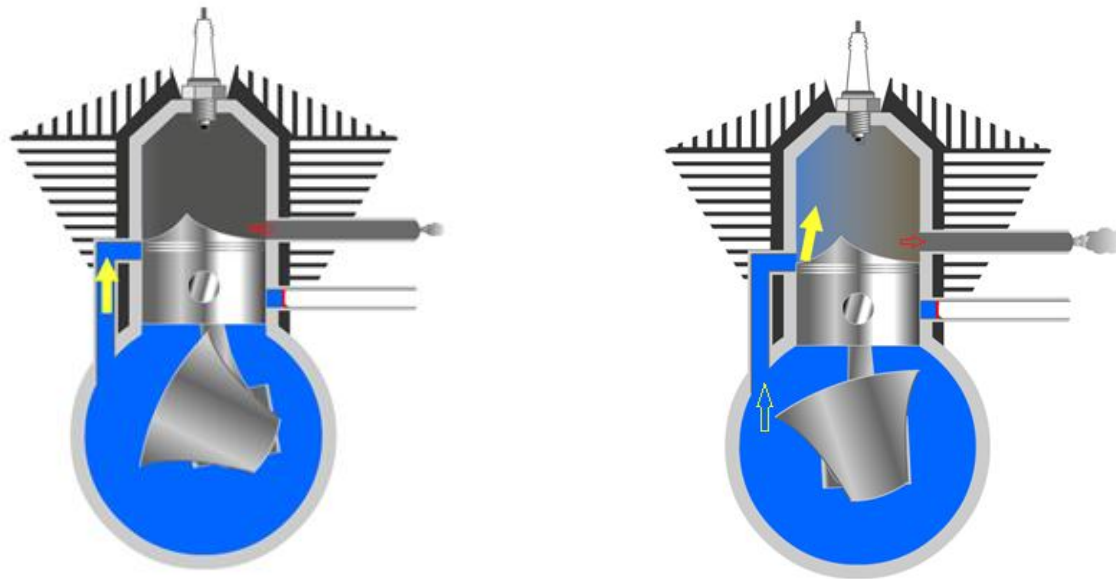


PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMS AL PMI

(Proceso del cambio de gases)

El pistón en su descenso con su borde superior descubre la lumbrera de escape, que está un poco más alta y salen los gases quemados, luego se descubre la lumbrera de carga y la mezcla precomprimida pasan del carter al cilindro ayudando a expulsar los gases quemados.

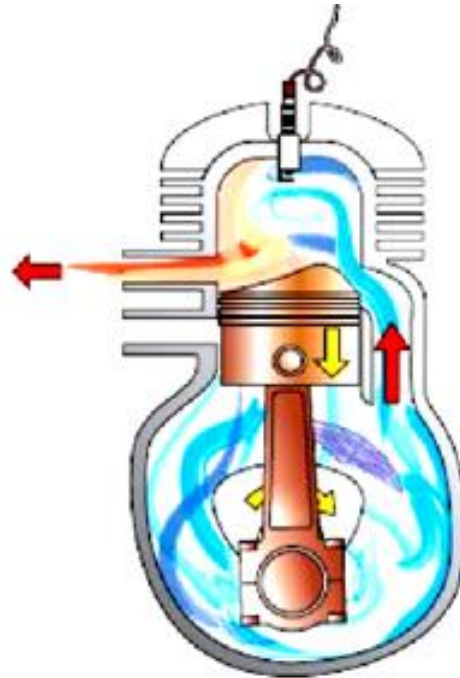


PROCESOS EN EL MOTOR

EL PISTON SE DESPLAZA DEL PMS AL PMI

(Proceso del cambio de gases)

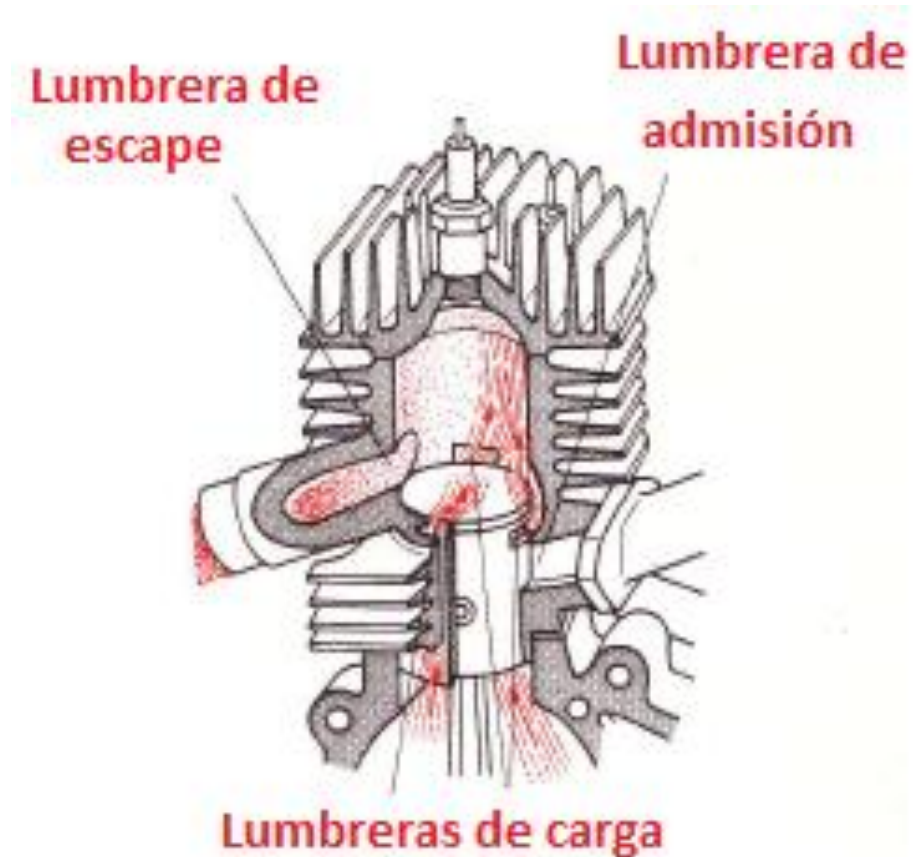
Como existe presión en el conducto de escape, una parte de los gases quemados ingresan al canal de carga, con ello se eleva la precompresión de aproximadamente 0,3 bar a la presión de barrido de unos 0,5 bar, en estas circunstancias se produce el cambio de gases.



PROCESOS EN EL MOTOR

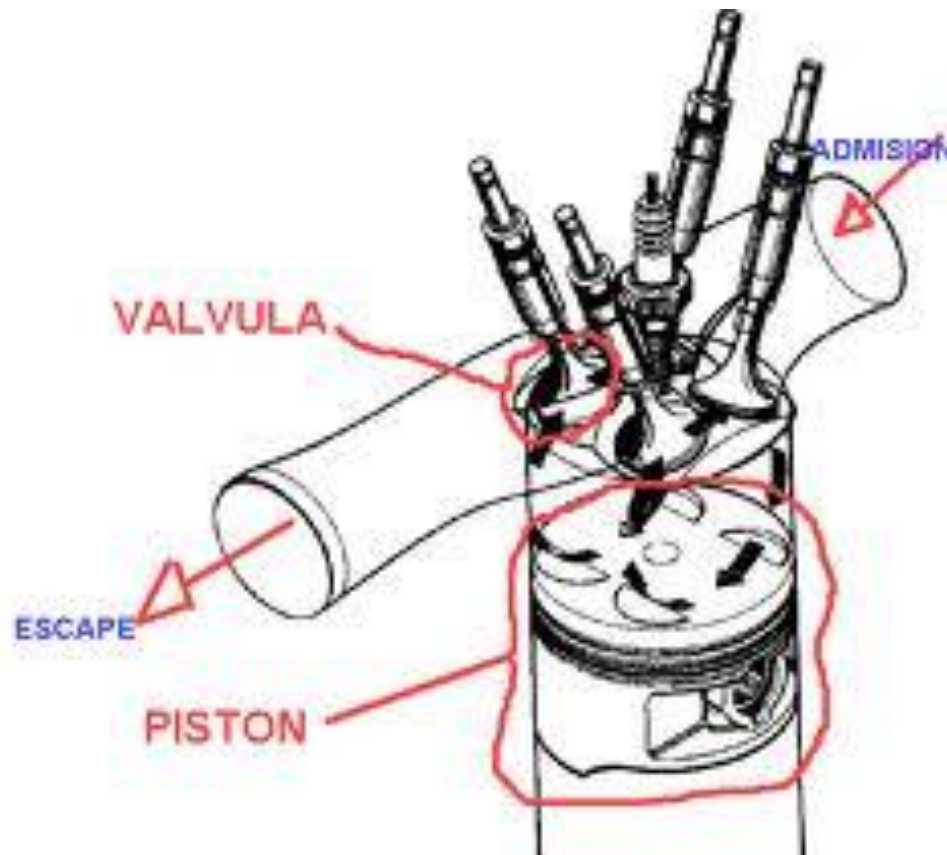
- Después que el pistón en su recorrido hacia el PMS ha cerrado la lumbrera de carga y luego la de escape se termina el proceso de barrido.

Esto significa que las lumbreras de escape y de carga están durante casi todo el proceso de cambio de gases simultáneamente abiertas.



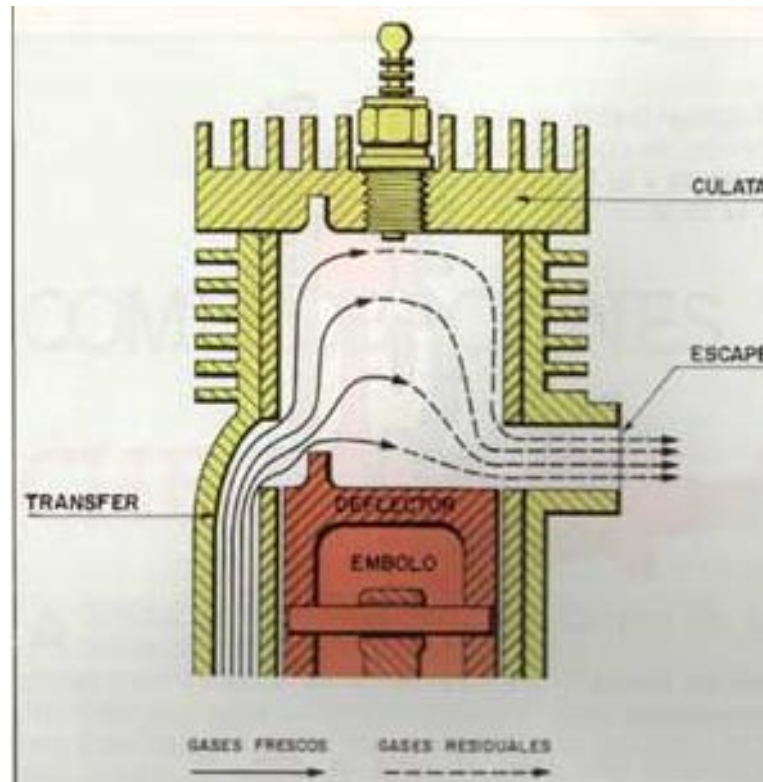
EL MOTOR DE DOS TIEMPOS TIENE UN CAMBIO DE GASES ABIERTO

- En cambio en el motor de 4 tiempos, sin tener en cuenta el breve espacio de tiempo del solape de las válvulas, tiene un cambio de gases cerrado.

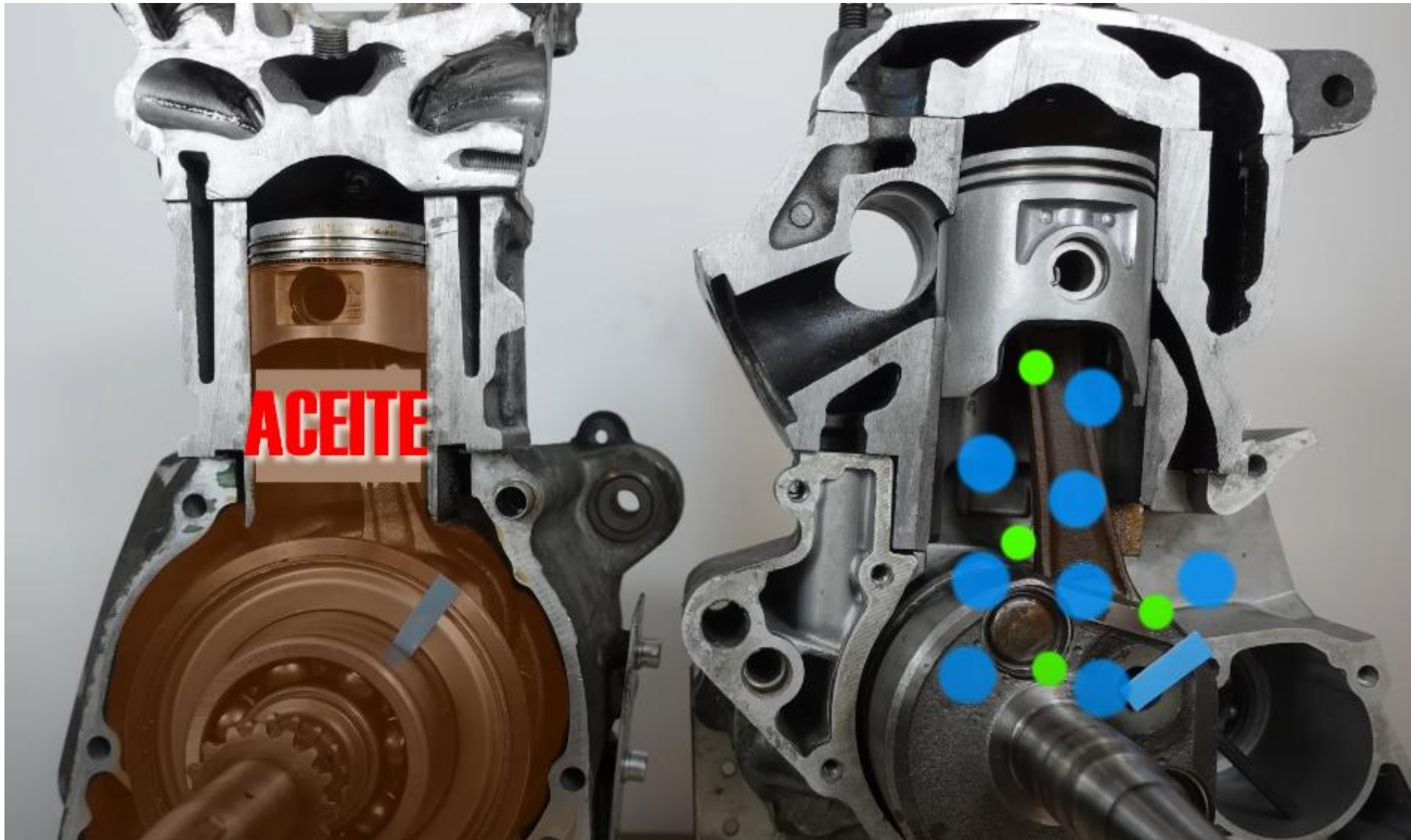


EL MOTOR DE DOS TIEMPOS TIENE UN CAMBIO DE GASES ABIERTO

- Por esta razón es inevitable en el motor de 2 tiempos que por un lado se produzca una mezcla entre gases nuevos y gases quemados y que por otro lado haya siempre una pérdida de gases nuevos, pero esto depende del procedimiento de barrido de los gases quemados.



EL MOTOR DE DOS TIEMPOS



EL MOTOR DE DOS TIEMPOS



EL MOTOR DE DOS TIEMPOS



The image shows a cross-section of a two-stroke engine cylinder. On the left, the piston is at the bottom of the cylinder, and the volume is labeled as 125 cc. On the right, the piston is at the top, and the volume is labeled as 12.5 cc. A red vertical line separates the two states. The cylinder walls have cooling fins. The piston has a central pin and a ring. The text '125 cc' is in green, and '12.5 cc' is in red. A large black text box at the bottom contains the compression ratio calculation.

125 cc

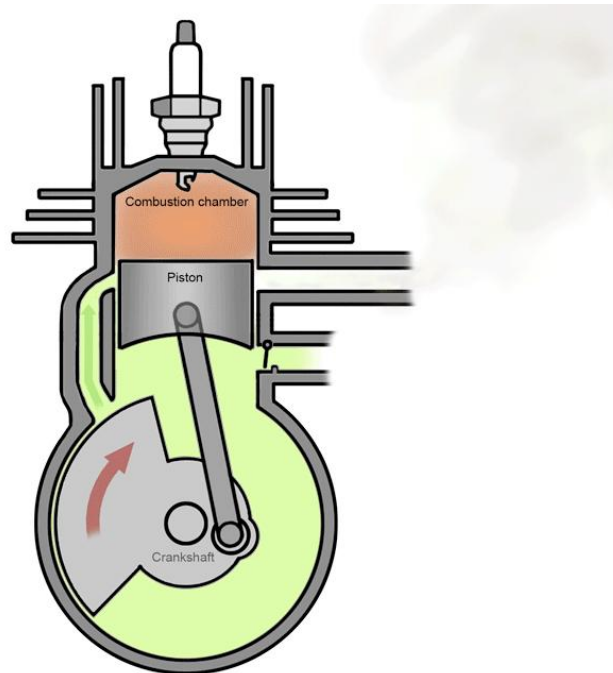
12.5 cc

Relación de compresión = $125:12.5 = 10:1$

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

Ventajas respecto al motor de cuatro tiempos

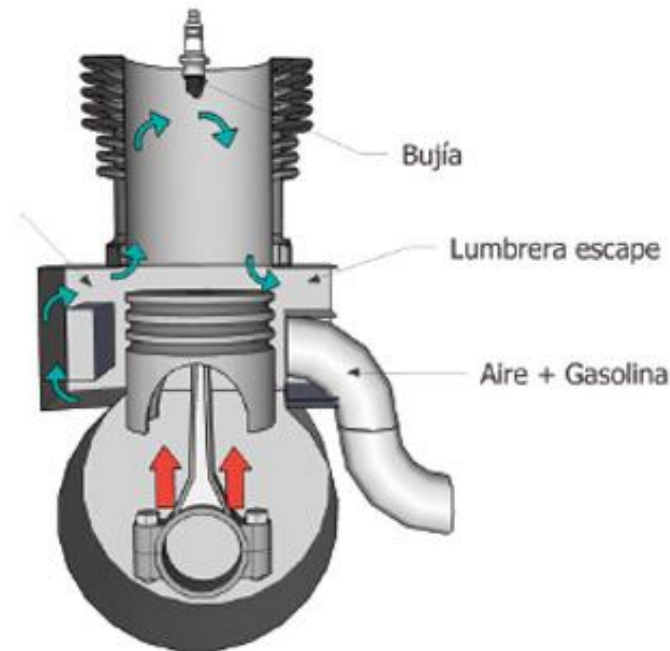
- Es más sencillo y por lo tanto más barato.
- Tiene menos piezas móviles y ocasiona por ello menos costos de reparación.
- El motor de dos tiempos tiene un momento de giro (par motor) más uniforme.

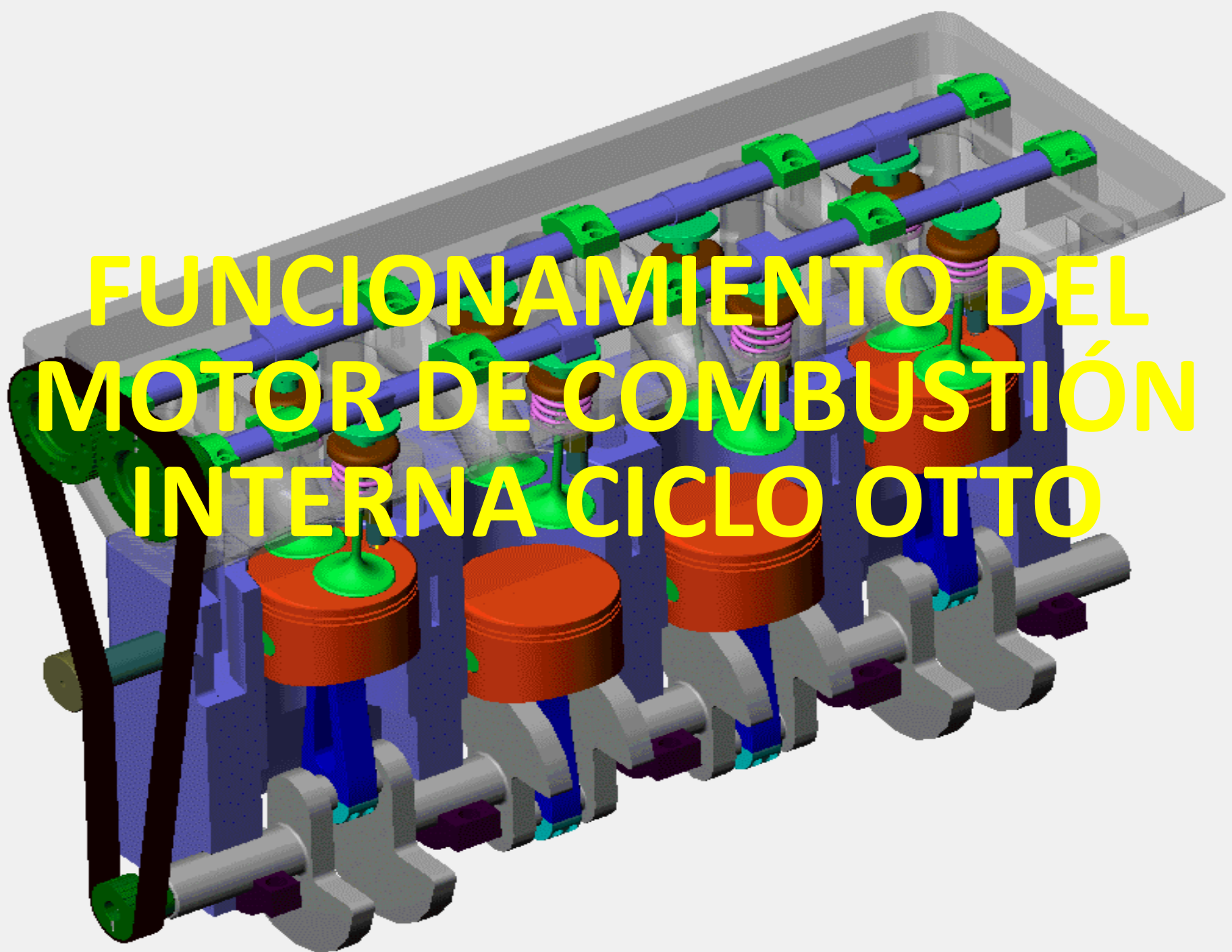


VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

Desventajas respecto al motor de cuatro tiempos

- El motor de dos tiempos tiene un mayor consumo específico de combustible y de aceite lubricante.
- Este motor tiene un llenado peor.
- Estos motores sufren una sollicitación más fuerte.





FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO

MOTOR DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO

Fue ideado y construido por el técnico alemán Nikolaus August Otto en 1878; utilizando gas de alumbrado para su funcionamiento, con un rendimiento del 15%.



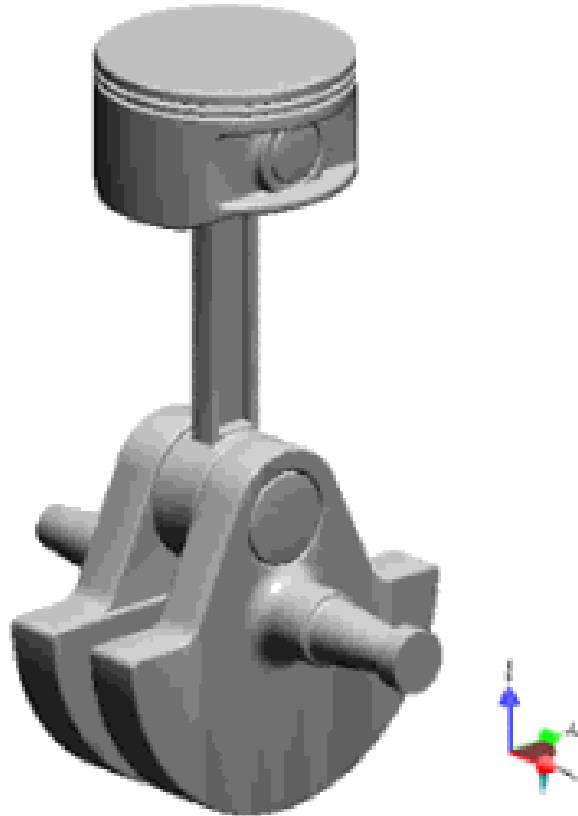
EL MOTOR DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO

El motor Otto de cuatro tiempos se emplea generalmente como máquina motriz de los automóviles y en alguna motocicletas.



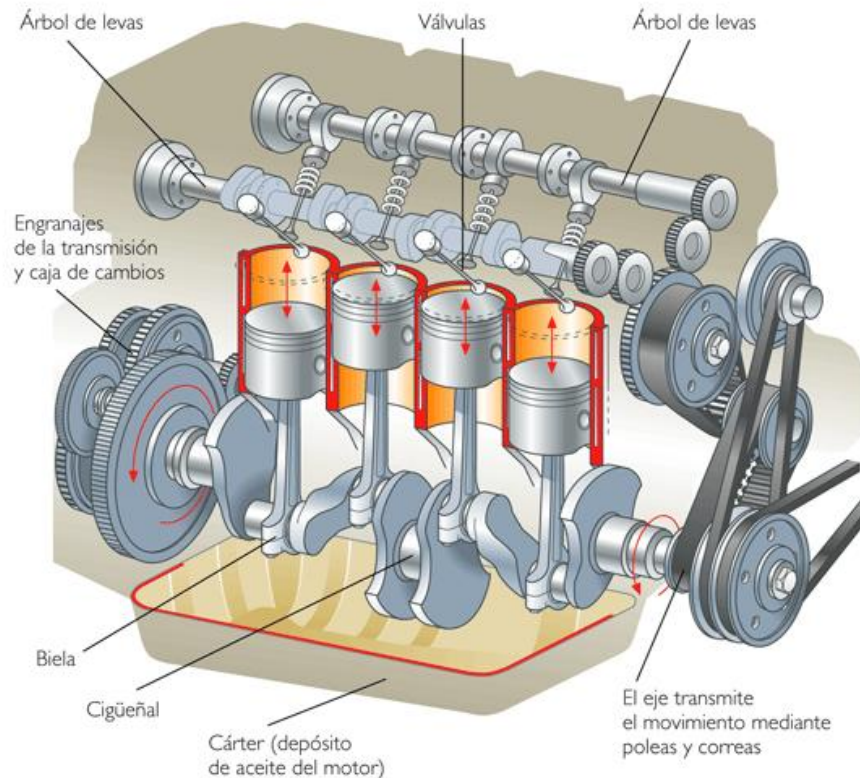
CONSTITUCIÓN DEL MOTOR

El motor Otto de cuatro tiempos, tiene un accionamiento por mecanismo cigüeñal que consta de pistón, biela y manivela.



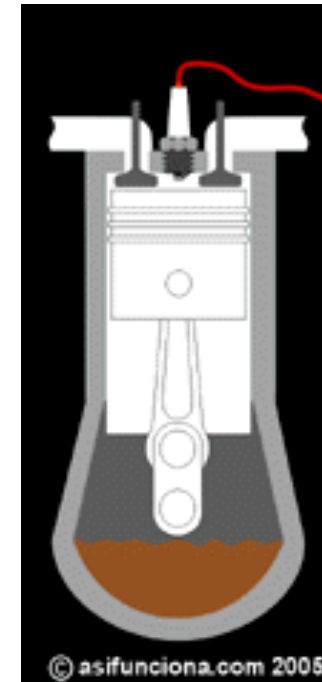
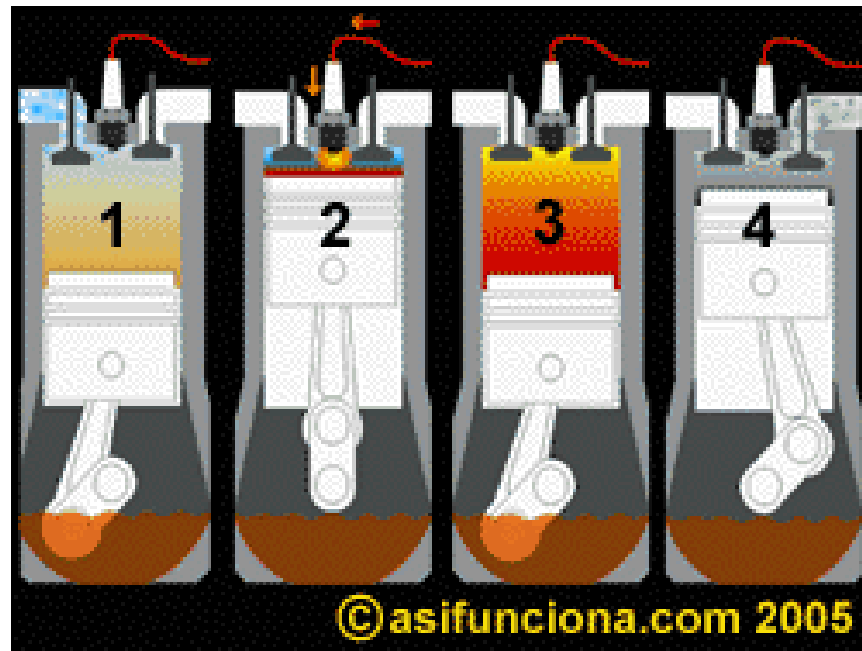
CONSTITUCIÓN DEL MOTOR

Todo el mecanismo esta encerrado en un cuerpo llamado bloque de cilindros, en su parte superior lleva una tapa de cilindros llamada también culata y en la parte inferior cierra una caja que se denomina carter.



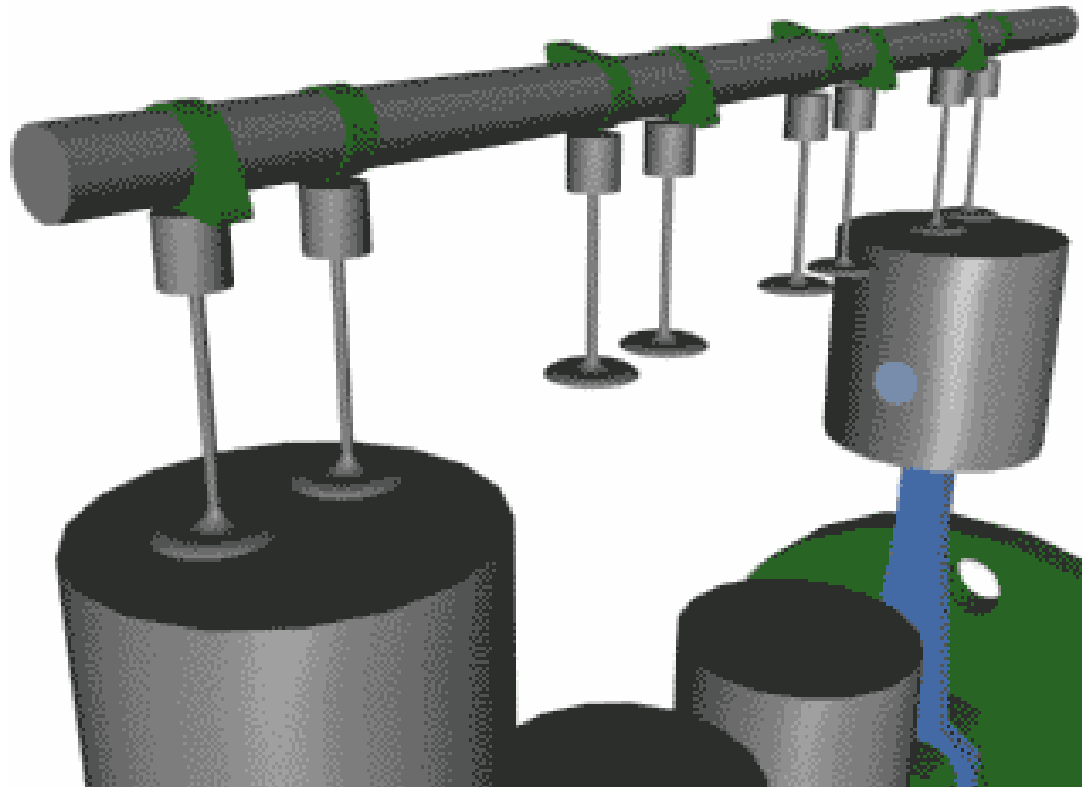
CONSTITUCIÓN DEL MOTOR

El pistón realiza un movimiento alternativo en el cilindro, la biela transmite este movimiento al cigüeñal que está soportado en la parte baja del bloque, de este modo se transforma el movimiento de vaivén en un movimiento de rotación.



CONSTITUCIÓN DEL MOTOR

Las válvulas, que son accionadas por un árbol de levas, hacen posible la entrada o salida de los gases en los cilindros.



CONSTITUCIÓN DEL MOTOR

El árbol de levas es accionado por el cigüeñal a través de una cadena ó piñones y gira a la mitad del número de revoluciones del cigüeñal.

Para la formación de la mezcla aire-combustible es necesario un carburador (gasificador), o un sistema de inyección.

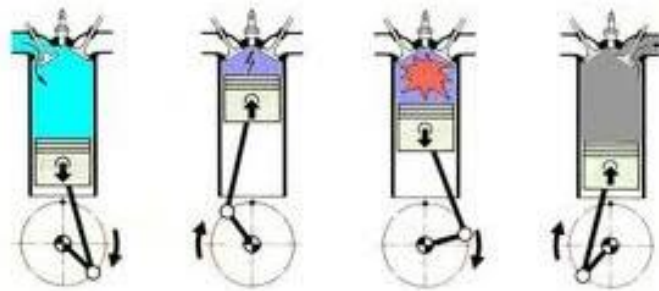
Para provocar la combustión en el cilindro posee un sistema de encendido.



CONSTITUCIÓN DEL MOTOR

Todos los componentes de un motor deberán satisfacer las siguientes condiciones :

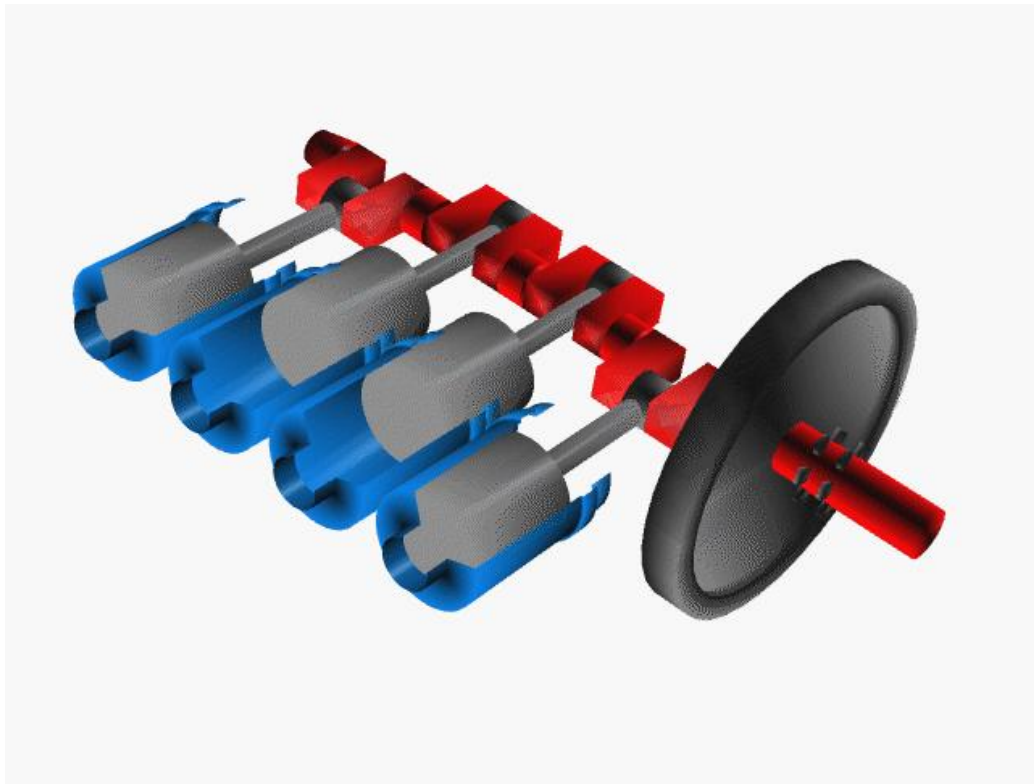
- *Resistir los esfuerzos puestos en juego durante la evolución de los gases.*
- *Asegurar la rigidez necesaria para un guiado correcto de los órganos móviles: pistón, cigüeñal, etc.*
- *Transmitir a las estructuras próximas el mínimo de vibraciones.*
- *Asegurar la eliminación de las calorías absorbidas por las paredes de las cámaras de combustión.*
- *Ser de construcción lo más económica posible.*
- *Permitir los montajes, desmontajes y conservaciones fáciles.*



EL MOTOR DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO

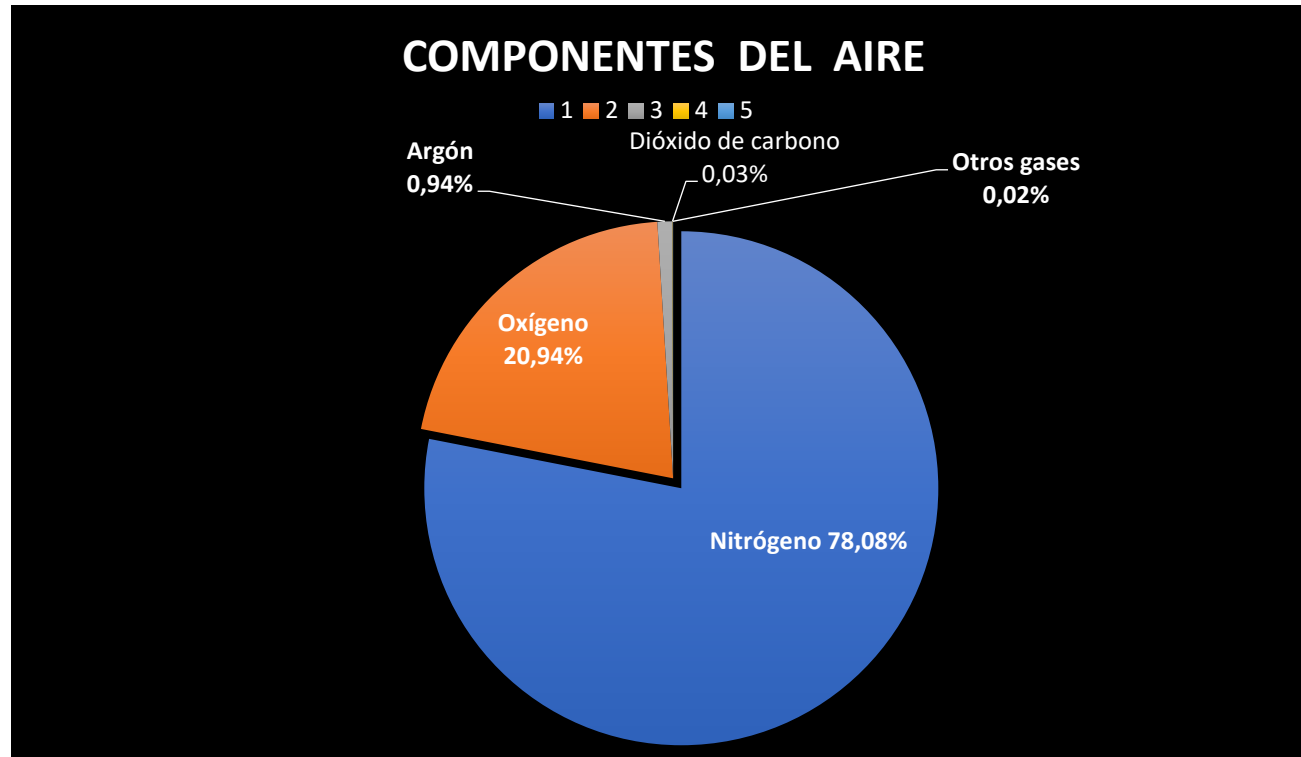
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- Un ciclo de trabajo se desarrolla en 2 vueltas de cigüeñal
- Los 4 tiempos del ciclo de trabajo son: admisión, compresión, expansión y escape.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

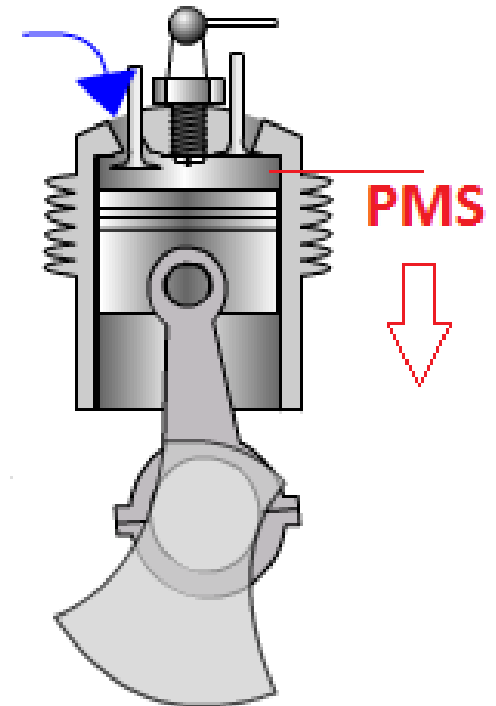
➤ Los motores necesitan del oxígeno del aire y combustible para su funcionamiento; (La atmósfera se compone de muchos elementos y compuestos químicos, pero los principales son el nitrógeno (78,08%), el oxígeno (20,94%), el argón (0,93%), el dióxido de carbono (0,03%) y otros gases (0,02%).



CICLO OTTO TEORICO

PRIMER TIEMPO: ADMISIÓN

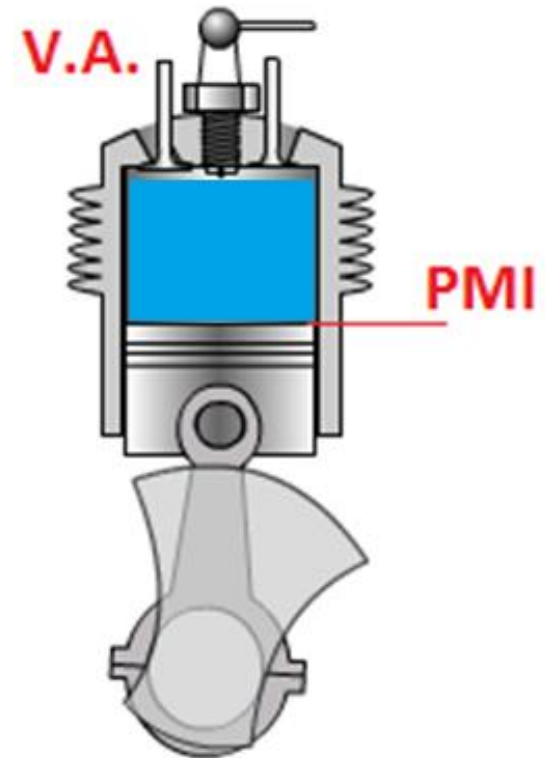
➤ El pistón desciende del PMS al PMI y la válvula de admisión instantáneamente se abre, esto produce un aumento de volumen que genera una depresión en el cilindro que a su vez aspira los gases frescos.



CICLO OTTO TEORICO

➤ *Primer tiempo: Admisión*

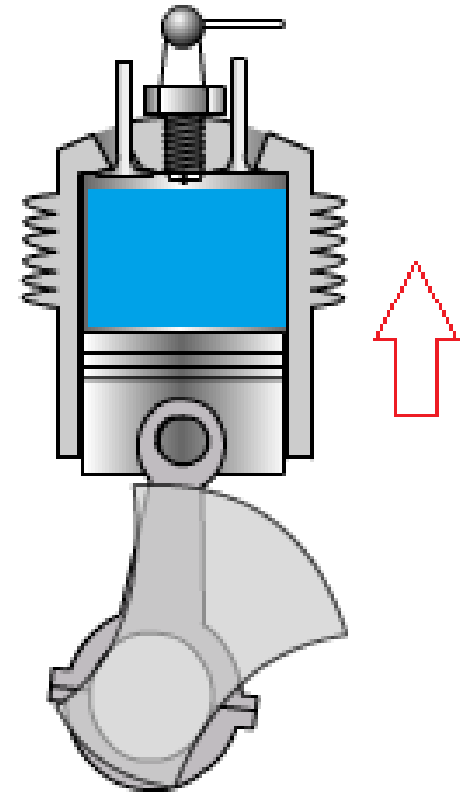
➤ Cuando el pistón llega al PMI simultáneamente se cierra la válvula de admisión; durante este desplazamiento el cigüeñal ha realizado un giro de 180° .



CICLO OTTO TEORICO

➤ **SEGUNDO TIEMPO: COMPRESIÓN**

➤ El pistón comienza el ascenso desde el PMI al PMS comprimiendo la mezcla encerrada en el cilindro, durante este desplazamiento las válvulas permanecen cerradas.

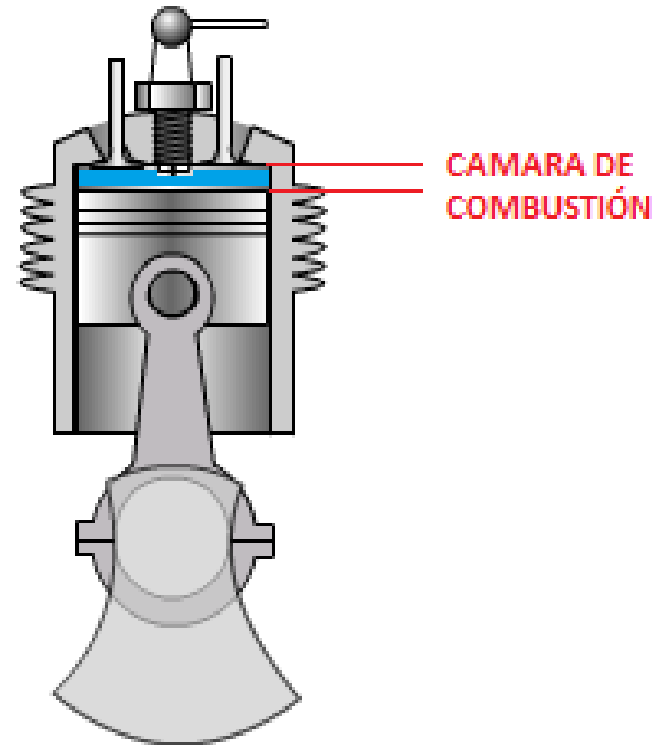


CICLO OTTO TEORICO

➤ *Segundo tiempo: Compresión*

➤ El pistón al llegar al PMS ha forzado la mezcla a que se aloje en la cámara de combustión.

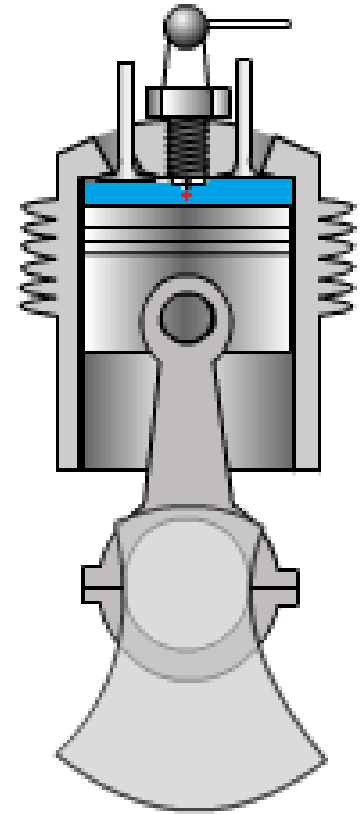
➤ El cigüeñal a girado 180° y desde el comienzo de la admisión hasta este punto a girado 360° .



CICLO OTTO TEORICO

➤ **TERCER TIEMPO: EXPLOSIÓN (COMBUSTIÓN)**

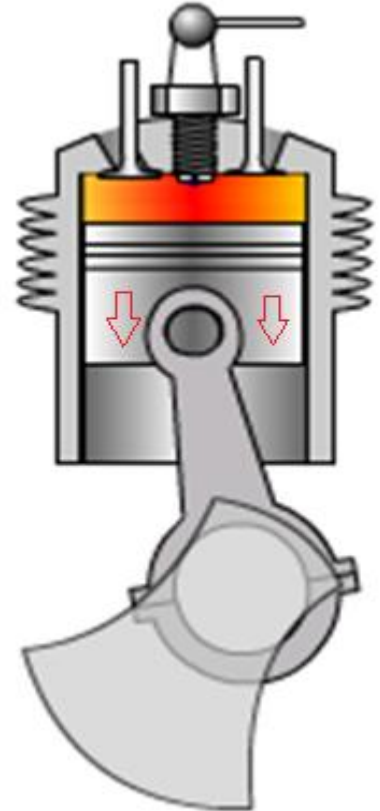
➤ Como el pistón llega al PMS al final de la compresión, en ese mismo instante se produce un salto de chispa eléctrica entre los electrodos de la bujía.



CICLO OTTO TEORICO

➤ *Tercer tiempo: explosión (combustión)*

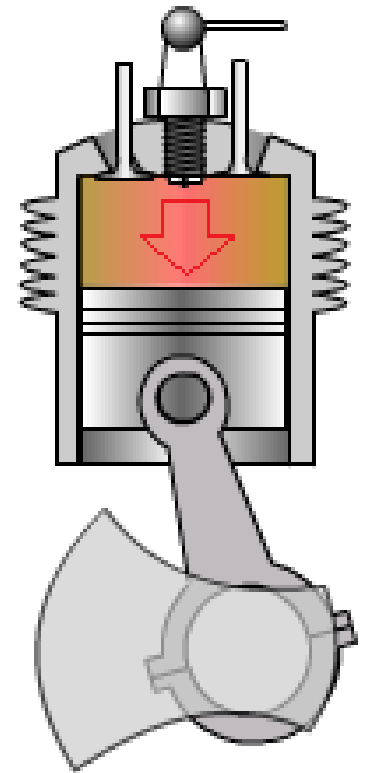
➤ Durante la combustión de toda la mezcla se libera gran cantidad de energía calorífica, lo que produce una elevada temperatura en el interior del cilindro.



CICLO OTTO TEORICO

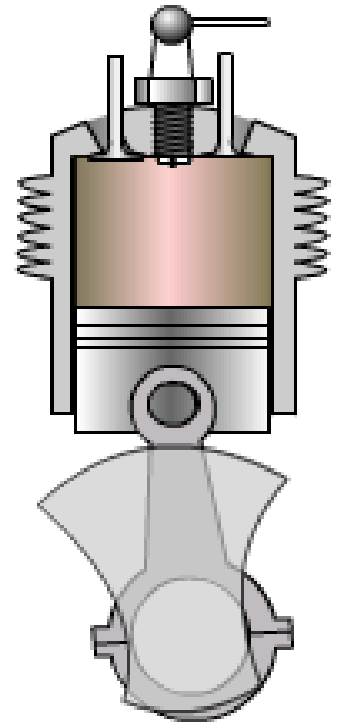
➤ *Tercer tiempo: explosión (combustión)*

➤ La energía cinética de las moléculas aumenta considerablemente, y al chocar contra la cabeza del pistón, generan la fuerza de empuje que hace desplazar al pistón hacia el PMI, durante todo este proceso la válvulas permanecen cerradas.



CICLO OTTO TEORICO

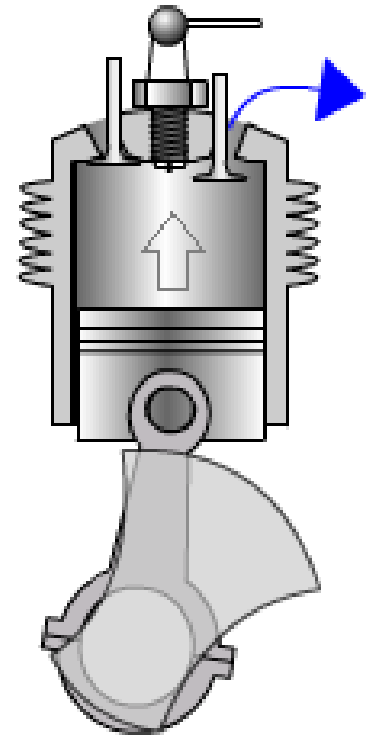
- ***Tercer tiempo: explosión (combustión)***
- ***El cigüeñal a girado 180° y desde el inicio de la admisión hasta este punto el cigüeñal a girado 540° .***
- ***Esta carrera es la única que produce un TRABAJO.***



CICLO OTTO TEORICO

➤ **CUARTO TIEMPO: ESCAPE**

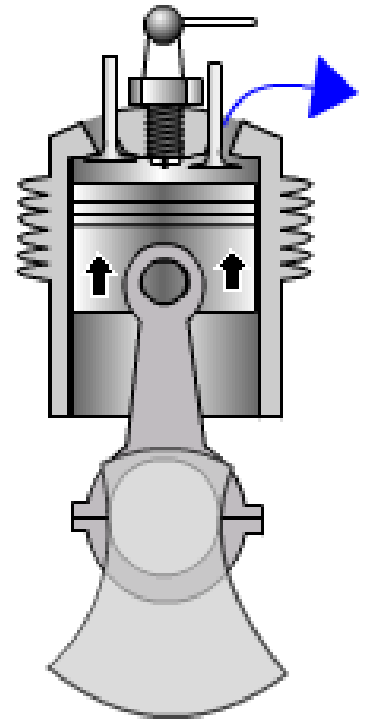
➤ El pistón parte del PMI hacia el PMS, instantáneamente se abre la válvula de escape permitiendo la salida de los gases quemados al exterior.



CICLO OTTO TEORICO

➤ *Cuarto tiempo: escape*

➤ El pistón en su asenso empuja los gases residuales hasta llegar al PMS, en este punto la válvula de escape se cierra terminando esta carrera y simultáneamente se abre la de admisión dando inicio a un nuevo ciclo de trabajo.



CICLO OTTO TEORICO

➤ *Cuarto tiempo: escape*

➤ Durante la fase de escape el cigüeñal a producido un giro de 180° más, y desde el inicio de la admisión hasta el final del escape el cigüeñal a girado 720° , culminando de esta manera el ciclo Otto de 4 tiempos.

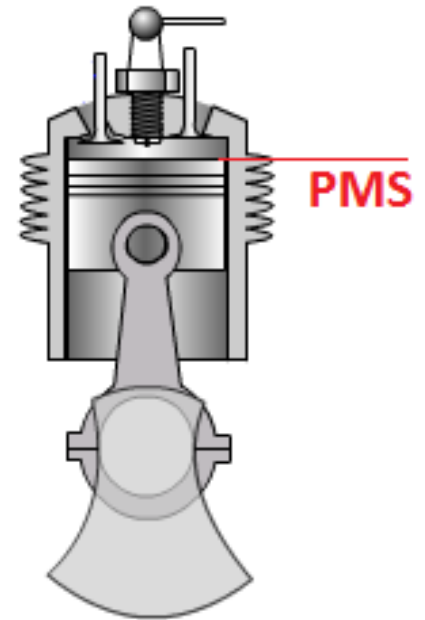


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **ADMISIÓN (ISOBARA) de 0-1:** teóricamente la circulación de los gases desde la atmosfera al interior del cilindro se realiza sin rozamiento, con lo que no hay pérdida de carga y por tanto, la presión en el interior del cilindro durante toda esta carrera se mantiene constante e igual a la atmosfera.

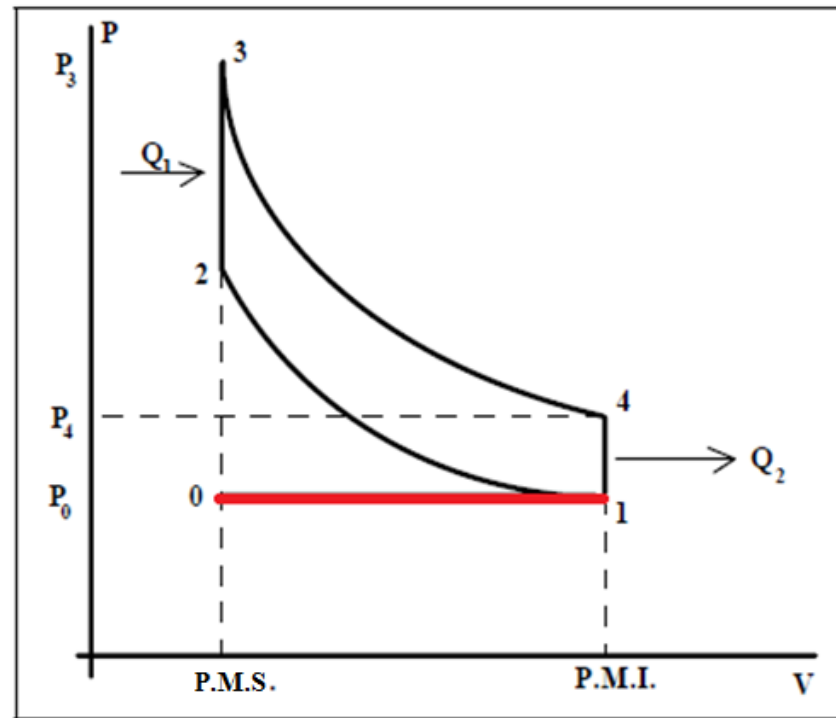
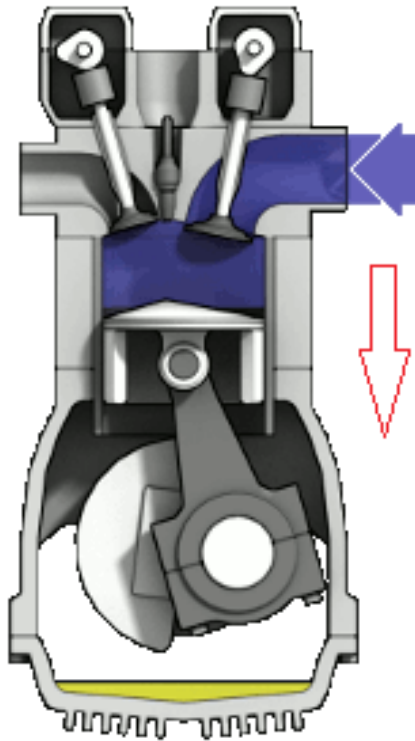


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **COMPRESIÓN (ADIABÁTICA) de 1-2:** teóricamente esta fase se realiza muy rápidamente por lo que el fluido operante no intercambia calor con el medio exterior, entonces esta transformación se considera a calor constante.

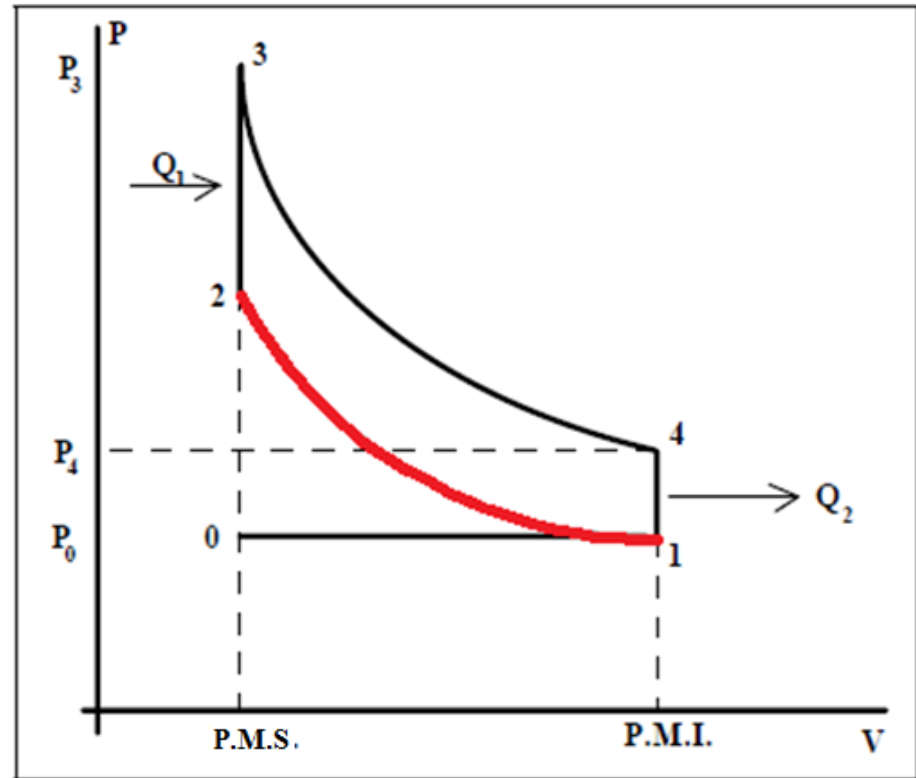
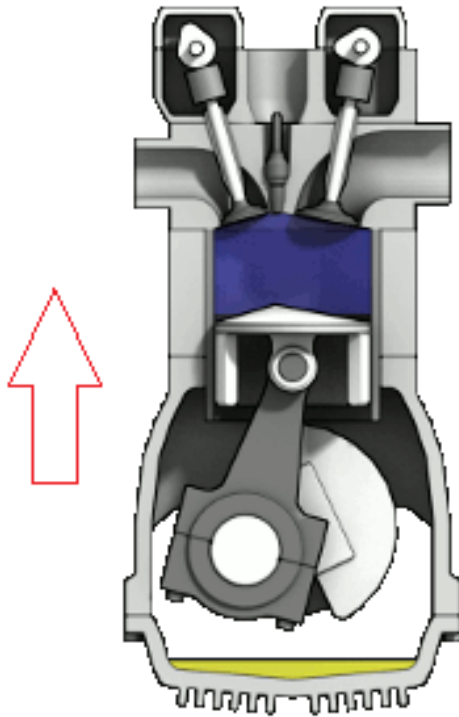


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **COMBUSTIÓN (ISÓCORA) de 2-3:** en teoría la chispa provoca una combustión instantánea del combustible, que a su vez produce una cantidad de calor Q_1 .

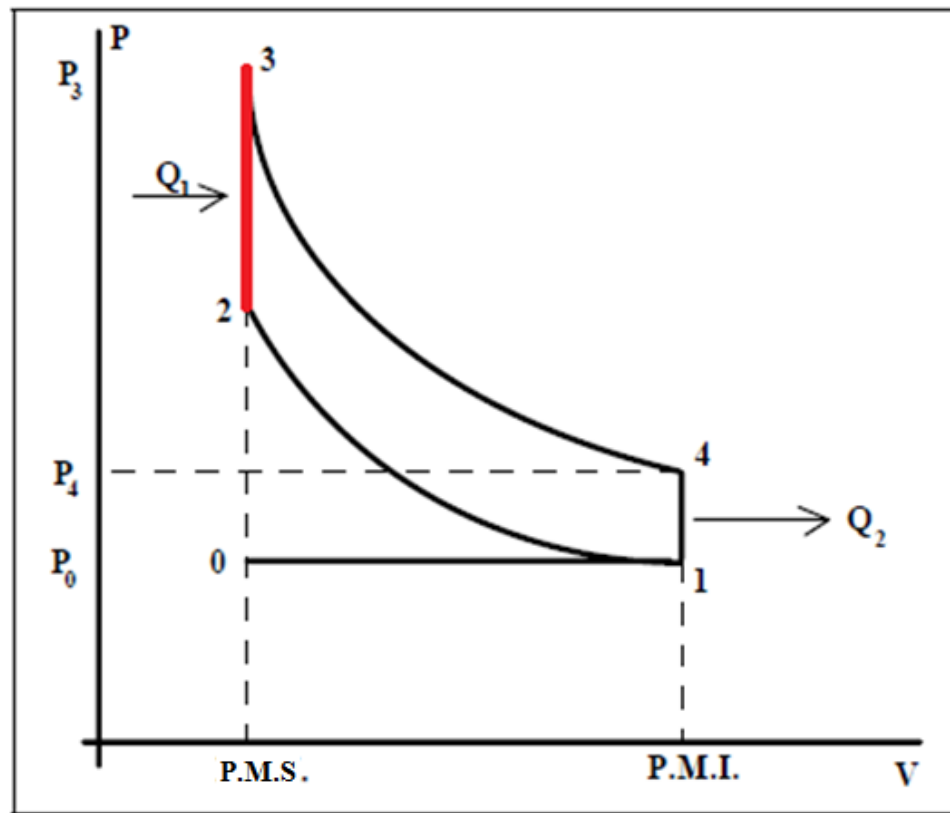


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **COMBUSTIÓN (ISÓCORA)** de 2-3: al ser tan rápida la combustión se considera que el pistón no se ha desplazado, por lo que el volumen durante la transformación se mantiene constante.

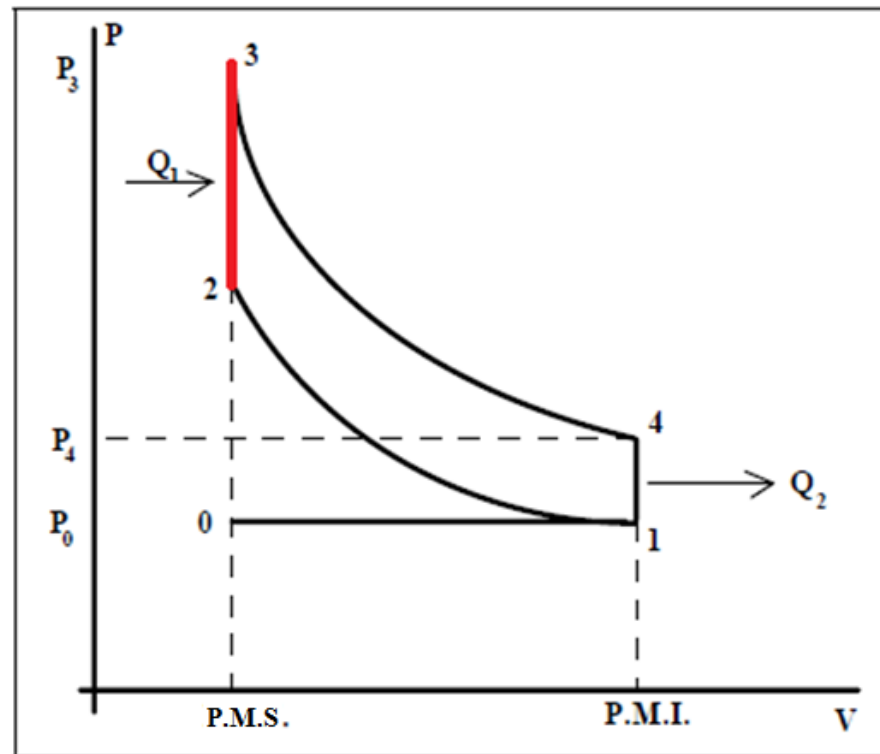
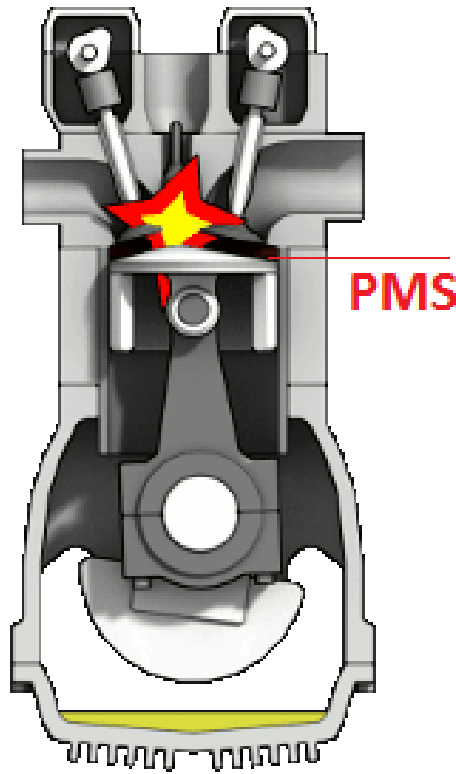


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **TRABAJO (ADIABÁTICA) de 3-4:** en teoría por el breve tiempo en el cual se realiza combustión los gases quemados no intercambian calor con el medio exterior, por lo que se considera que la transformación es a calor constante.

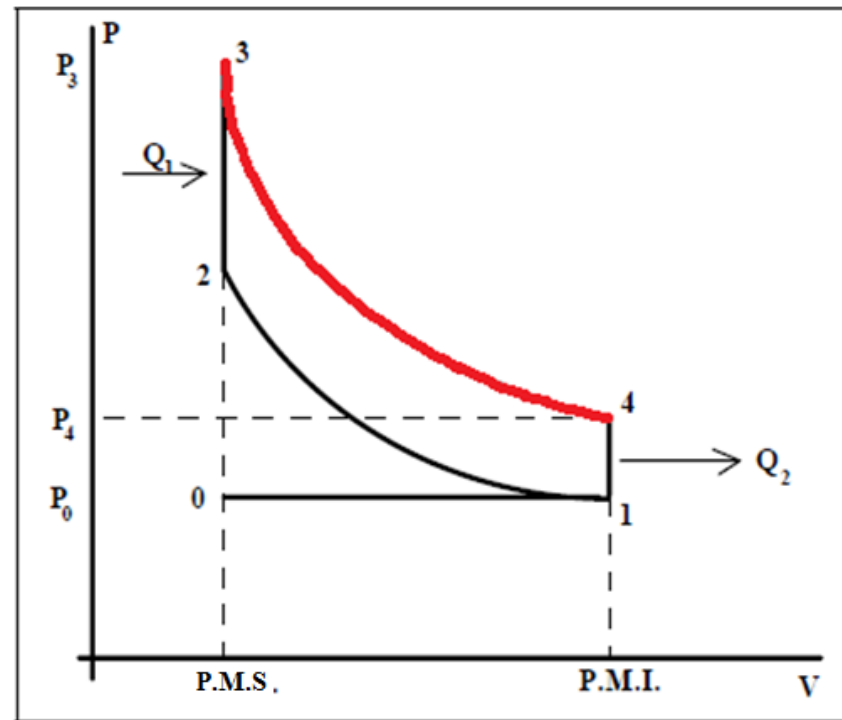
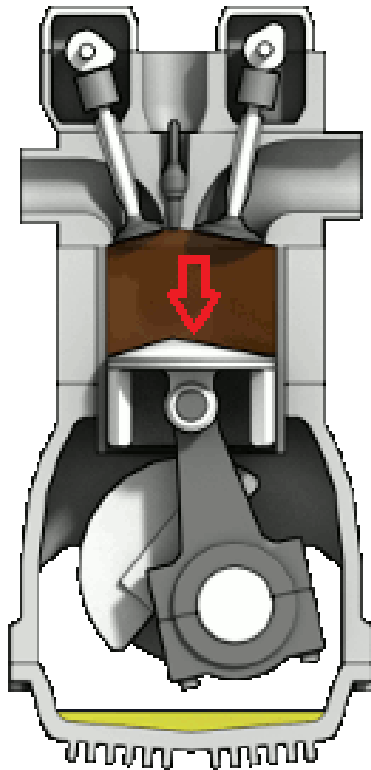


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **PRIMERA FASE DE ESCAPE (ISÓCORA) de 4-1:** En teoría la válvula de escape se abre instantáneamente, lo que genera una súbita salida de gases y una pérdida de calor Q_2 , que se considerar como una transformación a volumen constante.

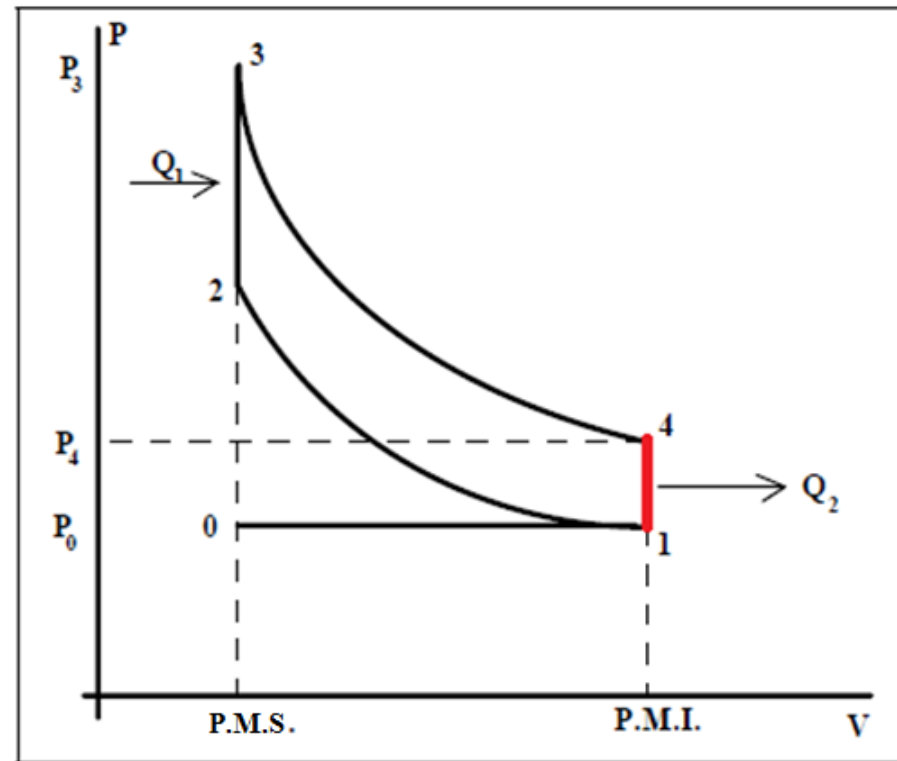
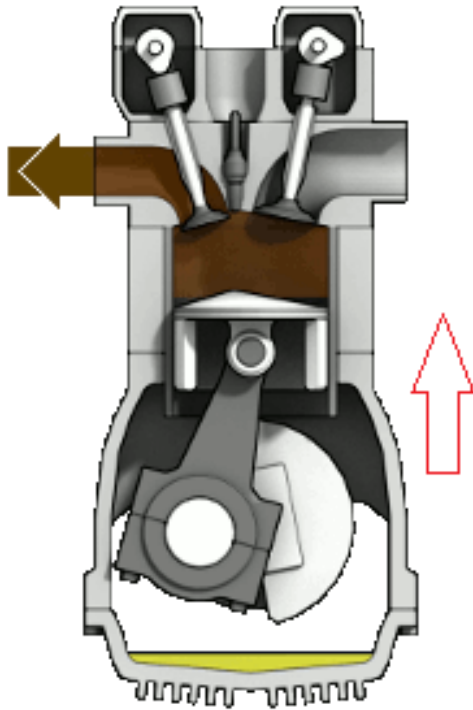


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

DIAGRAMA TEÓRICO

➤ **SEGUNDA FASE DE ESCAPE (ISÓBARA) de 1-0:** El pistón al desplazarse hacia el PMS provoca la salida de los gases remanentes del interior del cilindro y en teoría estos gases no ofrecen ninguna resistencia a su salida hacia la atmosfera, por lo que se puede considerar que la presión se mantiene constante e igual a la atmosférica.

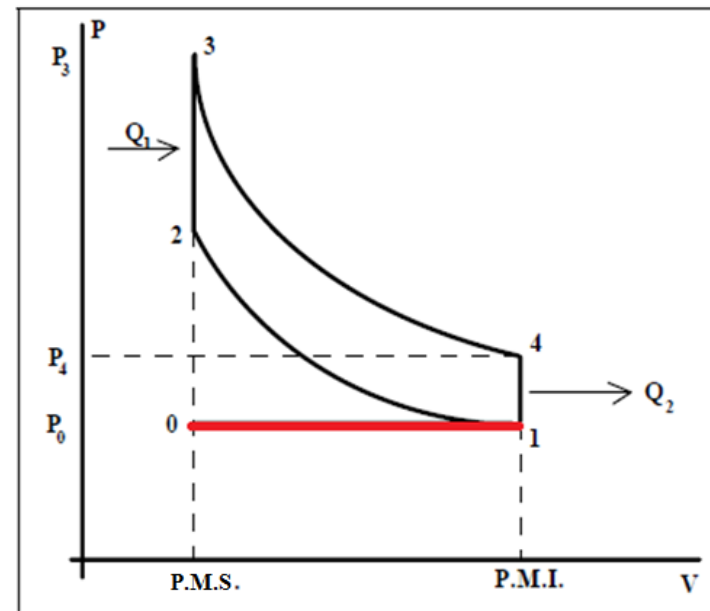
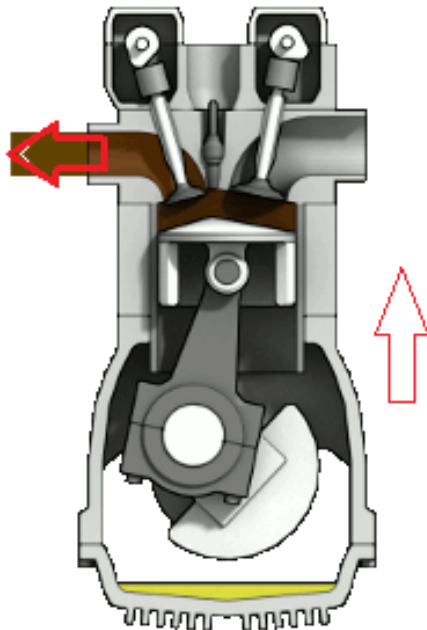
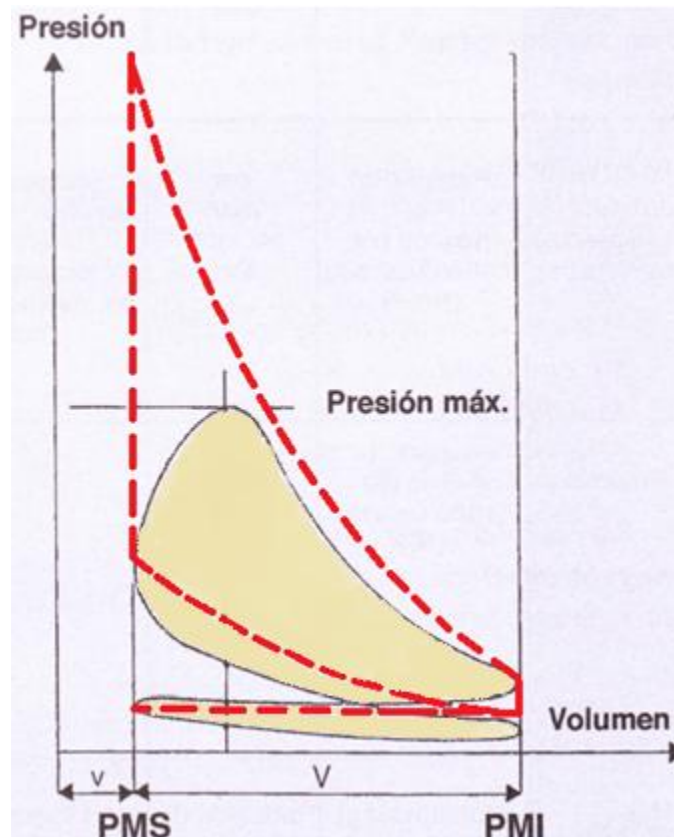


Diagrama P-V de un ciclo Otto teórico.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

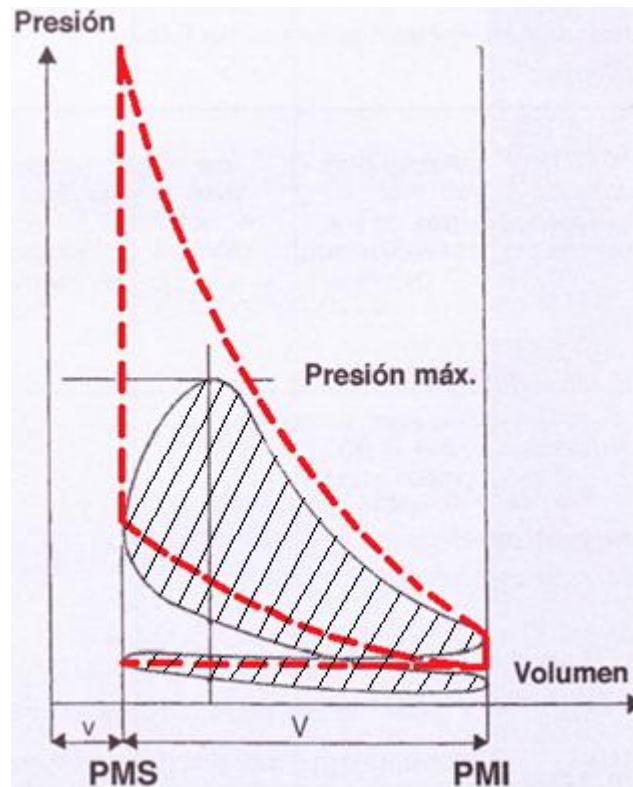
En el anterior diagrama se describió el ciclo ideal del motor ciclo Otto, en realidad un motor como el anterior, daría un diagrama práctico como el mostrado.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

Como se observa por su recorrido (línea continua) en comparación con el anterior (línea de trazos) no se corresponden por una serie de factores que se analizará a continuación.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

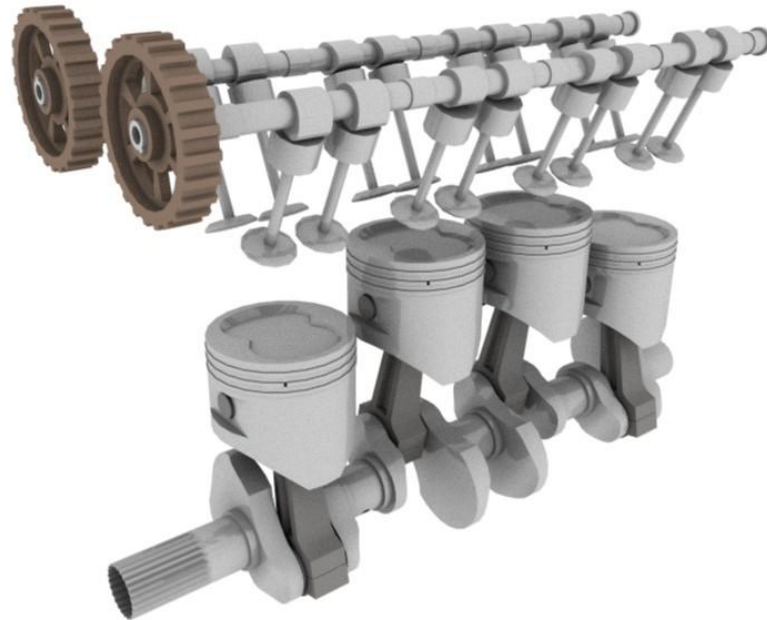
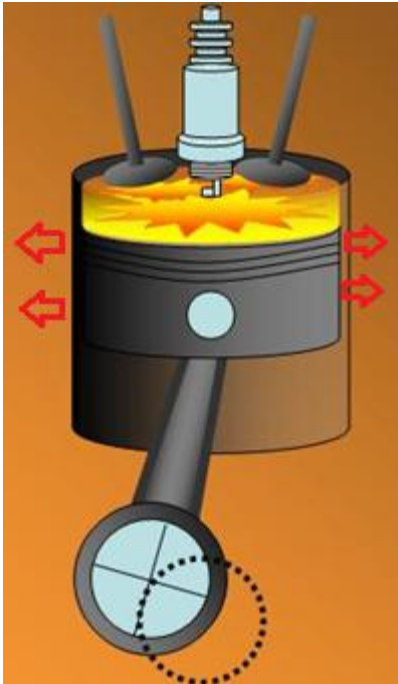
- La combustión no es instantánea (dura aproximadamente 0,002 segundos) y no se realiza a volumen constante.
- Los gases tienen una inercia y soportan pérdidas de carga (disminución de presión y velocidad) en su recorrido por los conductos de admisión.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

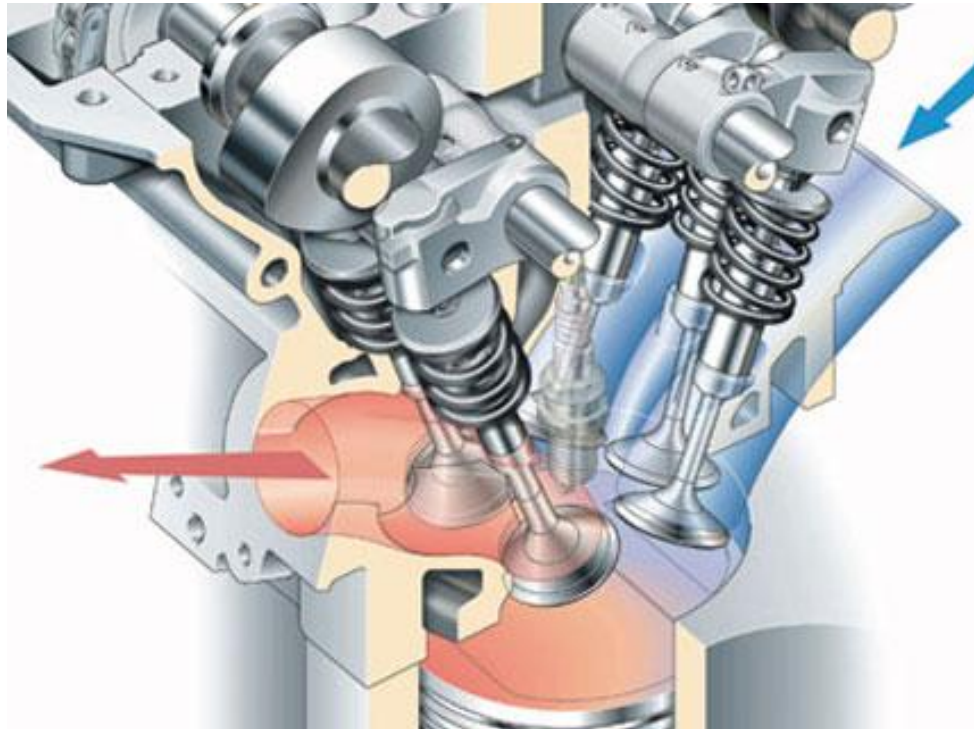
- La parte del calor generado por la compresión la combustión se pierde a través de las paredes del cilindro.
- La apertura y el cierre de válvulas no se produce de manera instantánea.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

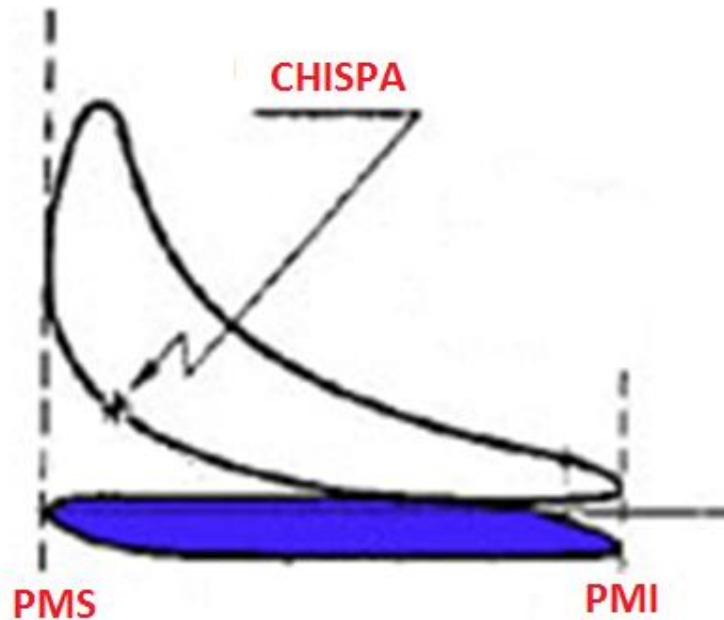
- Los equilibrios de presión entre el exterior y el interior no son inmediatos.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

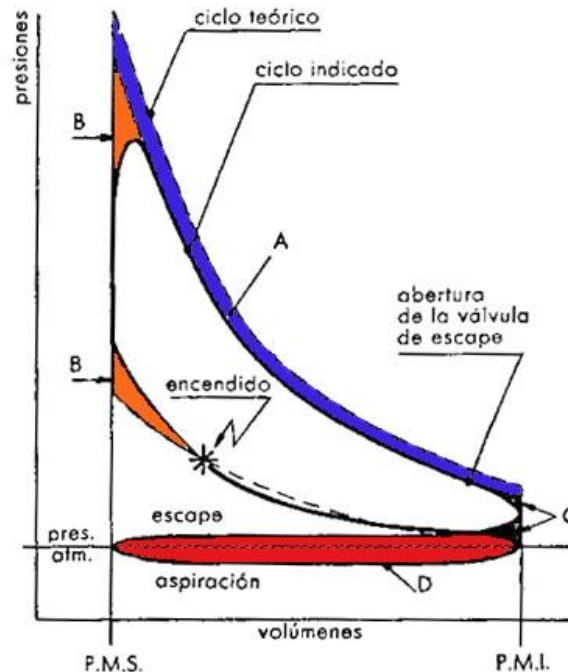
➤ Todas las condiciones citadas dan como resultado unas cifras de presión distintas a las que teóricamente se describió en el diagrama teórico.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

DIAGRAMA PRÁCTICO

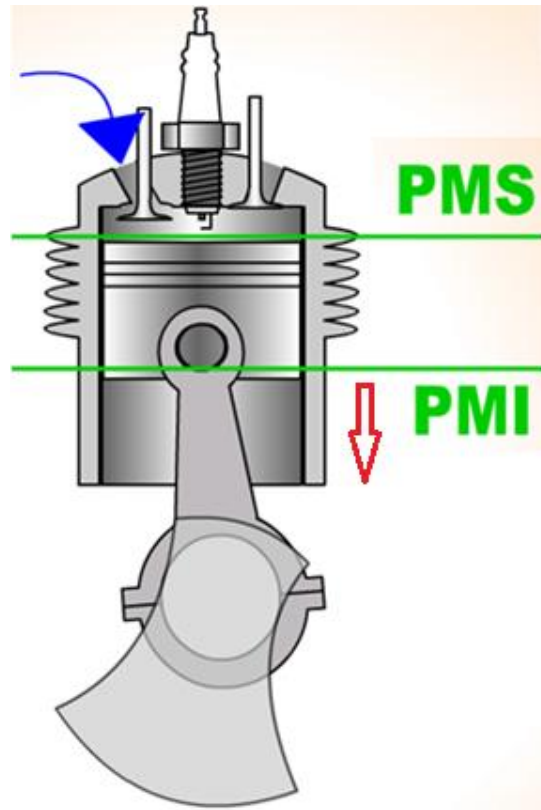
➤ Esto obliga a realizar una serie de modificaciones en el funcionamiento teórico para conseguir un ciclo práctico mejor, de tal manera que se a modificado el diagrama de mando de la distribución dando como resultado un ciclo practico de la siguiente manera:



CICLO REAL

1. ADMISIÓN:

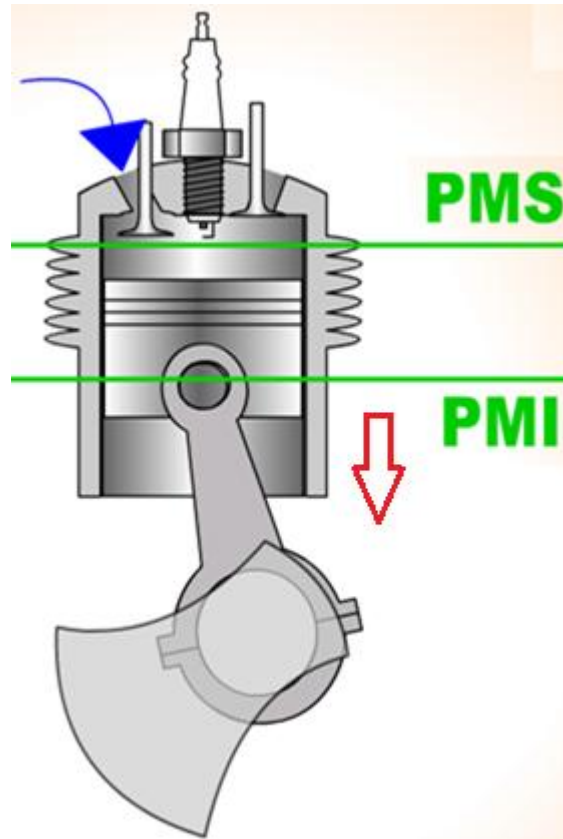
En el movimiento descendente del pistón produce un aumento de volumen, lo cual conlleva a una depresión de 0,1 a 0,2 bar y, por consiguiente, una aspiración.



CICLO REAL

1. Admisión:

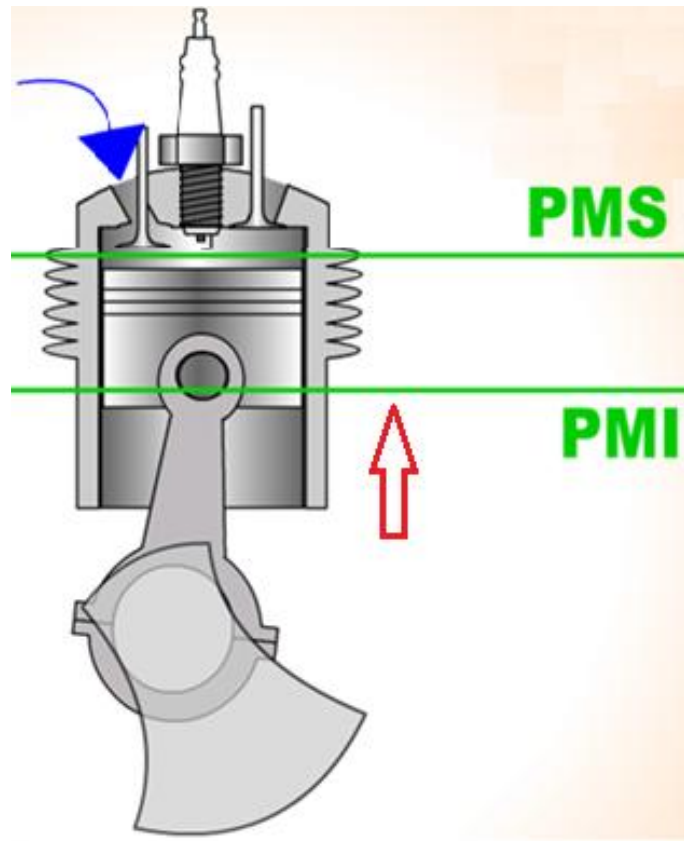
Si la válvula de admisión estuviera abierta solamente durante el movimiento del pistón desde el PMS hasta el PMI (180° del cigüeñal), entonces el cilindro se llenaría insuficientemente de gas fresco.



CICLO REAL

1. *Admisión:*

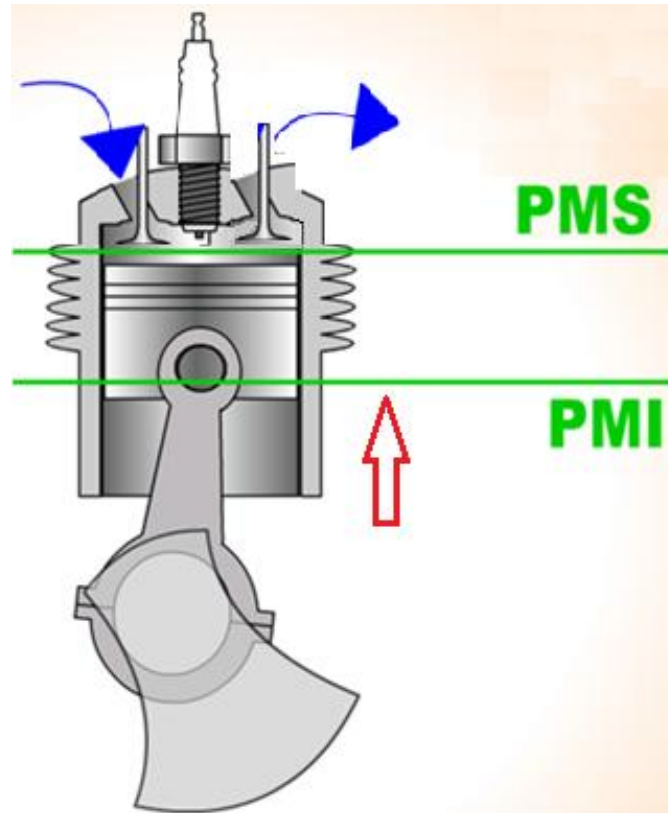
Para mejorar el llenado y por ende la potencia, la válvula de admisión se abre hasta 45° antes del PMS (al final de la fase de escape).



CICLO REAL

1. *Admisión:*

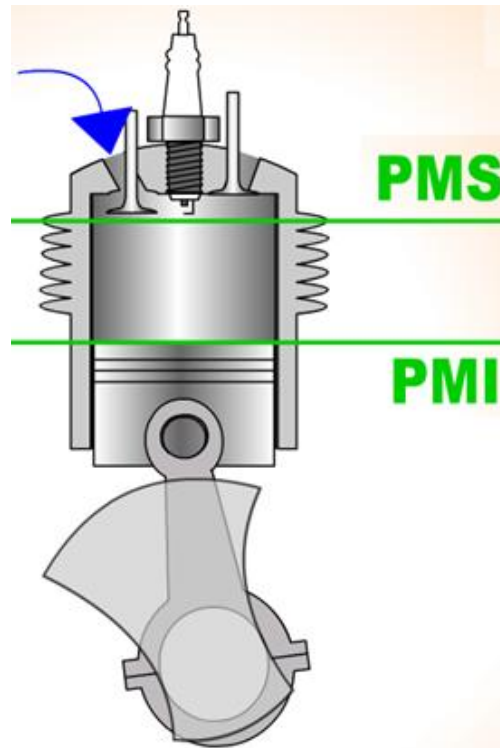
El gas quemado expulsado del tiempo anterior (escape), genera una depresión que pone en movimiento el gas fresco antes de que el pistón se mueva hacia abajo.



CICLO REAL

1. Admisión:

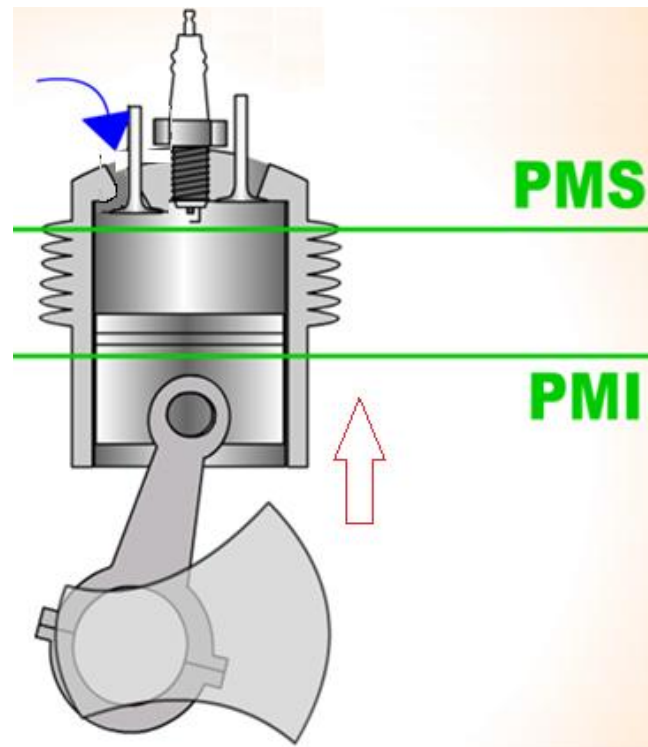
La válvula de admisión no cierra hasta 35° a 90° después del PMI, ya que los gases frescos, que circulan a una velocidad de unos 100 m/s, pueden seguir circulando algún tiempo más debido a la inercia, hasta que la presión generada por el pistón que se mueve hacia arriba lo frene (efecto de sobrealimentación).



CICLO REAL

1. Admisión:

El ángulo de apertura de la válvula de admisión puede así aumentarse de 180° a 315° . Aunque por este motivo se alargue notablemente el tiempo de admisión, el llenado de gas fresco alcanza como máximo el 80% del peso del gas que correspondería al volumen de la cilindrada.



CICLO REAL

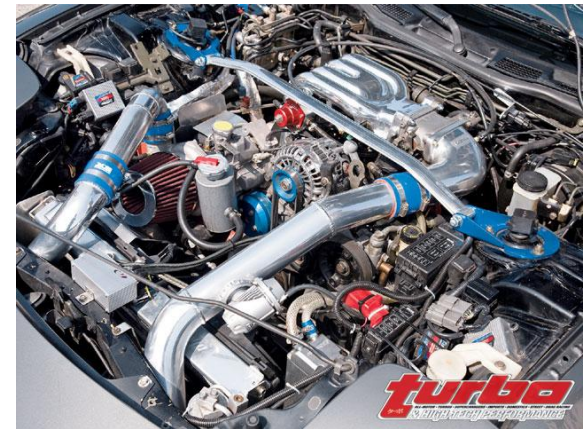
*** Para mejorar el llenado de los cilindros puede conseguirse por:**

Menor resistencia de circulación del gas fresco:

- Tubos de aspiración cortos, anchos lisos.
- Forma adecuada de la cámara de combustión.
- Amplia sección transversal de admisión.
- 2 válvulas de admisión en cada cilindro.

Baja temperatura interior de los cilindros:

- Buena refrigeración.



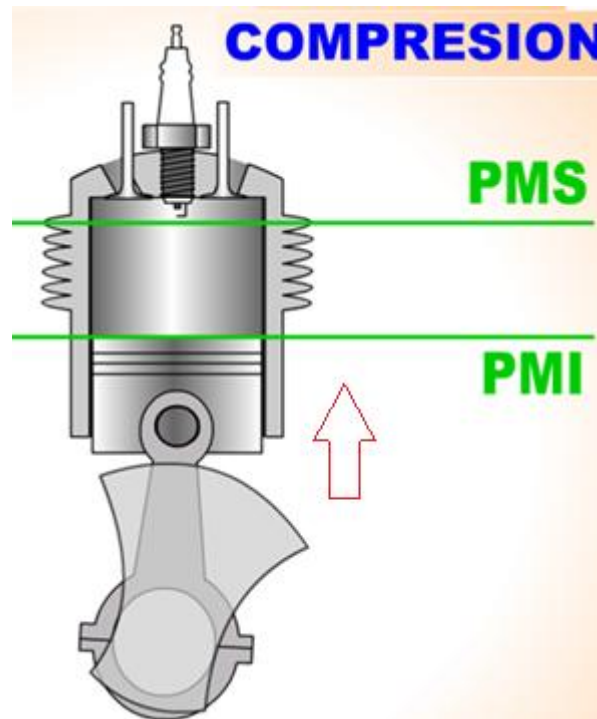
El llenado se empeora por:

- Tiempos de abertura de las válvulas decreciente para revoluciones más altas.
- Baja presión del aire - para 100 m de aumento de la altura la potencia del motor descende en un 1% aproximadamente.

CICLO REAL

2. COMPRESION: al ascender el pistón, el gas nuevo se comprime hasta 6ª ó 10ª parte del volumen inicial del cilindro.

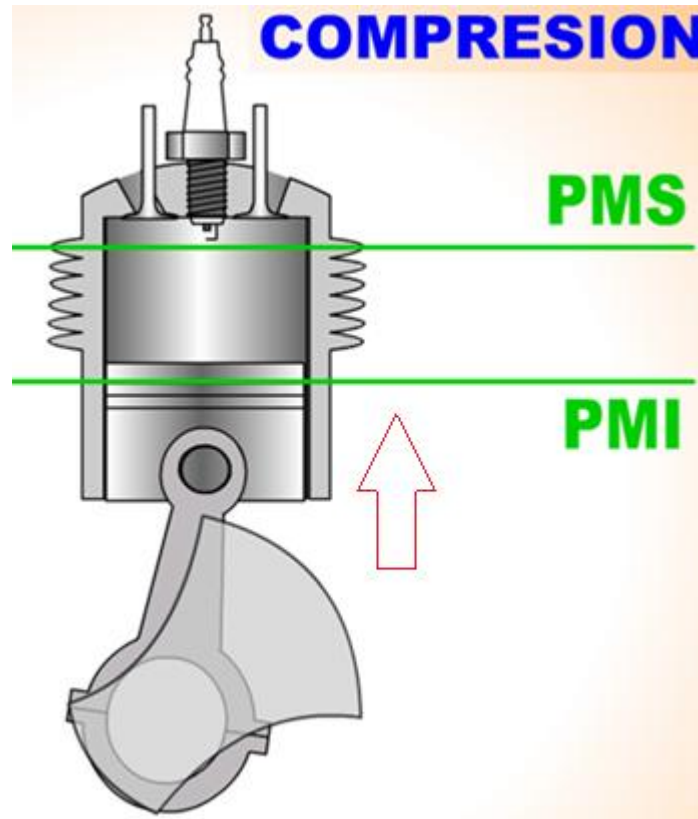
En la compresión se desarrolla una temperatura de 400°C a 500°C, por lo cual la presión final de compresión puede alcanzar hasta 18 bar.



CICLO REAL

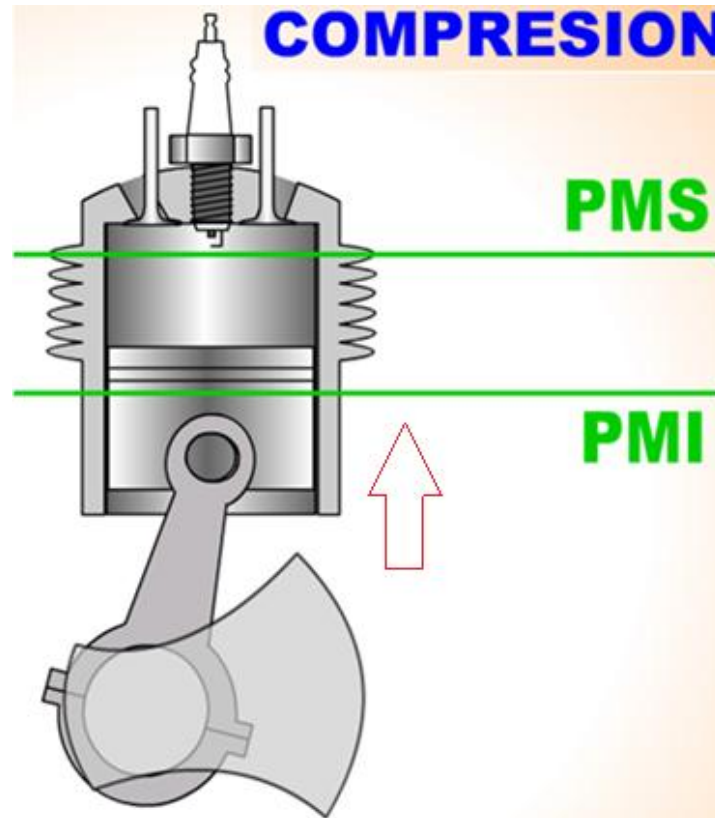
2. *Compresión:*

La compresión favorece la gasificación ulterior del combustible y la mezcla íntima de éste con el aire. Con ello se prepara la combustión de modo que pueda ser rápida y completa en el tercer tiempo.



2. Compresión:

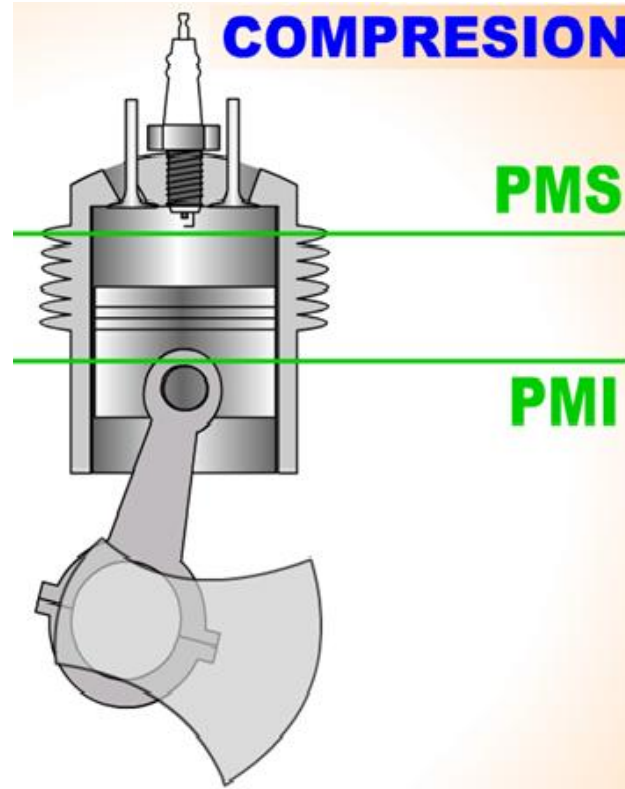
A temperatura constante, la presión y el volumen varían en relación inversamente proporcional en el cilindro. Si el volumen se reduce, por ejemplo, a la octava parte, la presión aumenta ocho veces.



2. Compresión:

Limitación de la relación de compresión → Pistoneo.

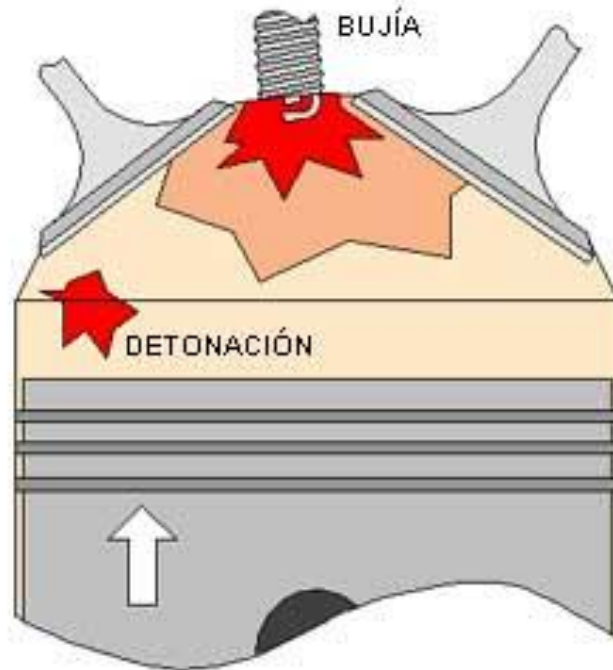
Cuanto mayor es la relación de compresión de un motor Otto tanto mayor es el aprovechamiento de la energía del combustible y con ello el rendimiento del motor.



CICLO REAL

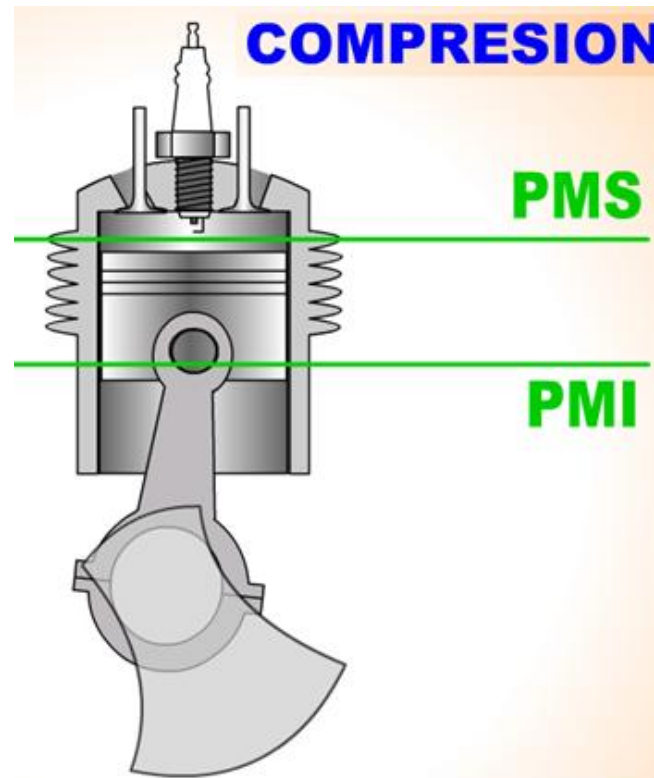
2. Compresión:

Pero en el motor Otto no se puede elevar demasiado la relación de compresión ya que la mezcla se inflamaría sin necesidad de la chispa eléctrica, efecto conocido como “Detonación”, en el motor se escucharía un sonido de faldeo ó pistoneo.



2. *Compresión:*

Para una mayor relación de compresión se debe utilizar gasolina de mayor octanaje (la calidad de la gasolina viene determinada por el "IO" o "NO" Alto índice de octano, que es la capacidad de quemarse progresiva y homogéneamente a una determinada presión sin producir detonación).



2. Compresión:

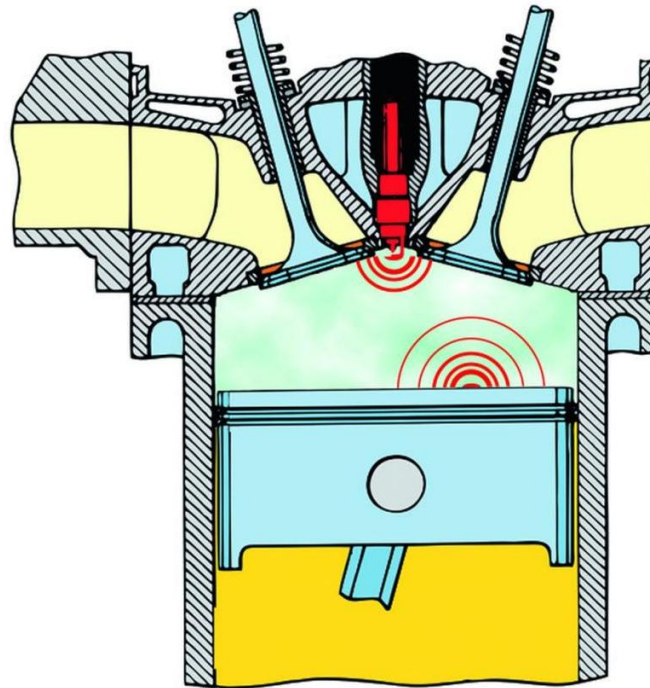
Otras causas del pistoneo: Además del empleo de combustible inadecuado, la causa puede estar también en un excesivo avance del encendido, en una distribución no uniforme de la mezcla dentro de la cámara de combustión y en una descarga insuficiente del calor (por ejemplo, depósitos de plomo y carbonilla).



2. Compresión:

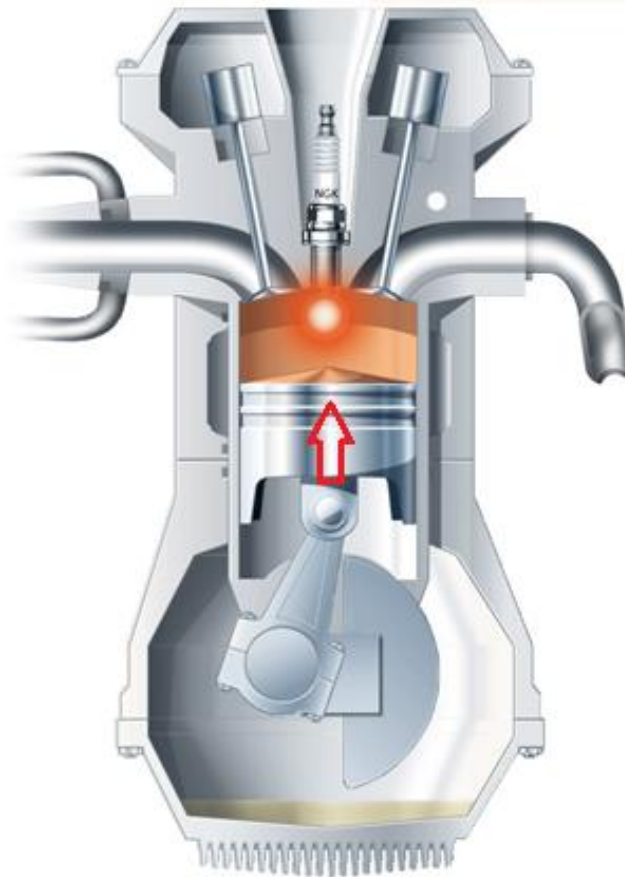
Otras causas del pistoneo:

El encendido por incandescencia se desencadena cuando hay puntos calientes en la cámara de combustión, y antes de que se produzca el encendido normal la mezcla se inflama por estos elementos.



CICLO REAL

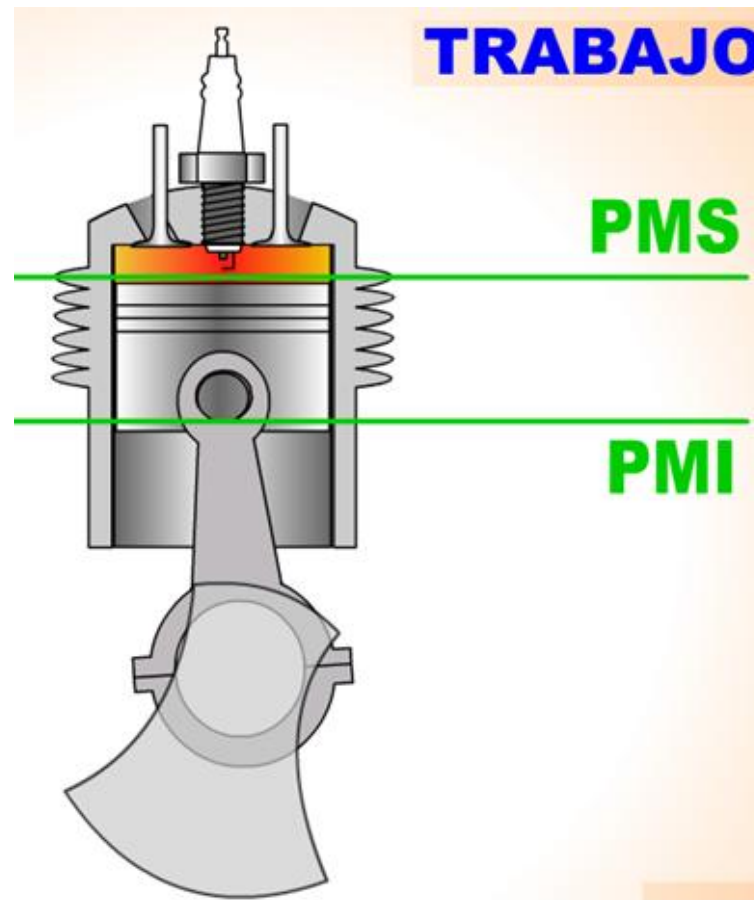
3. EXPANSION (combustión y trabajo): La combustión se realiza en virtud del salto de chispa de encendido entre los electrodos de la bujía.



CICLO REAL

3. *Expansión:*

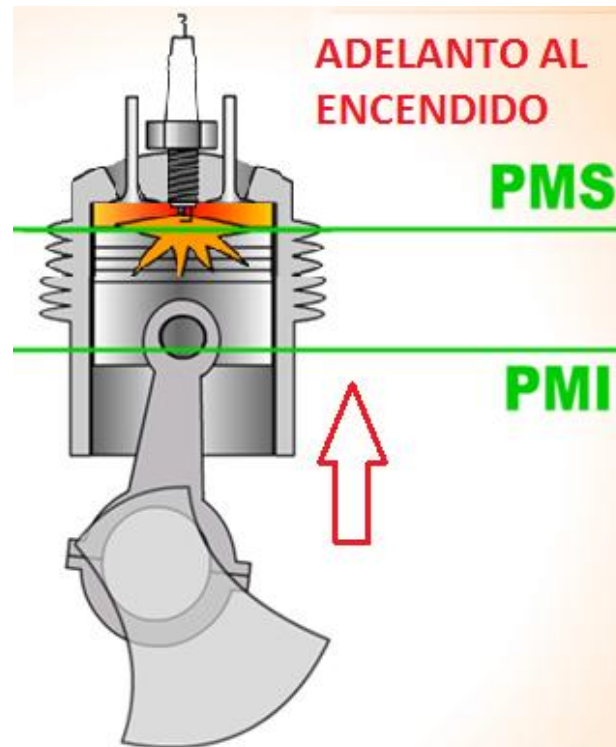
El espacio de tiempo comprendido entre el salto de la chispa y el total desarrollo de un frente de llamas es de unos 0,002 seg., y a una velocidad de combustión de 20 m/s.



CICLO REAL

3. *Expansión:*

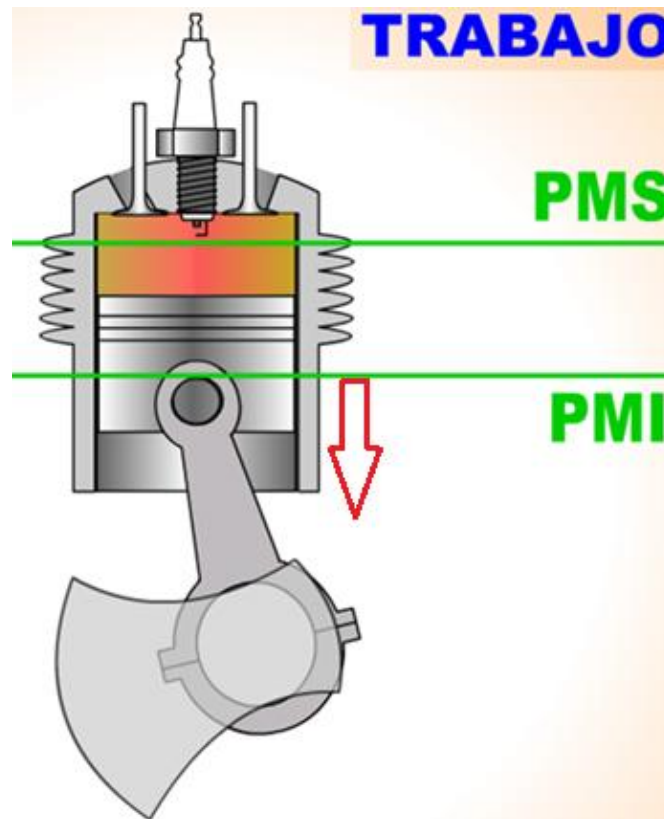
Por el tiempo que se necesita para que inicie la combustión, la chispa de encendido debe saltar según el número de revoluciones del motor entre 0° y 40° antes del PMS con objeto de que la combustión que se produce a modo de explosión alcance poco después del PMS.



CICLO REAL

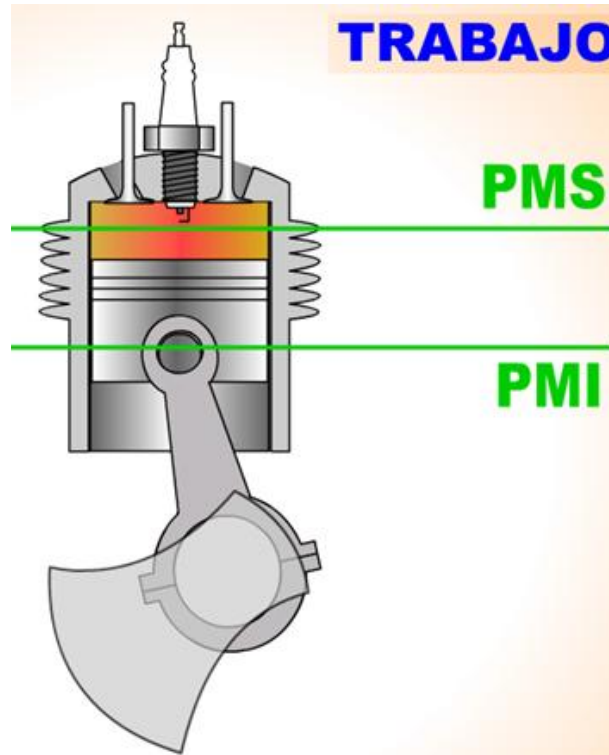
3. *Expansión:*

La máxima temperatura de la combustión está entre 2000°C a 2500°C y la correspondiente presión de combustión va desde 30 bar hasta más de 60 bar.



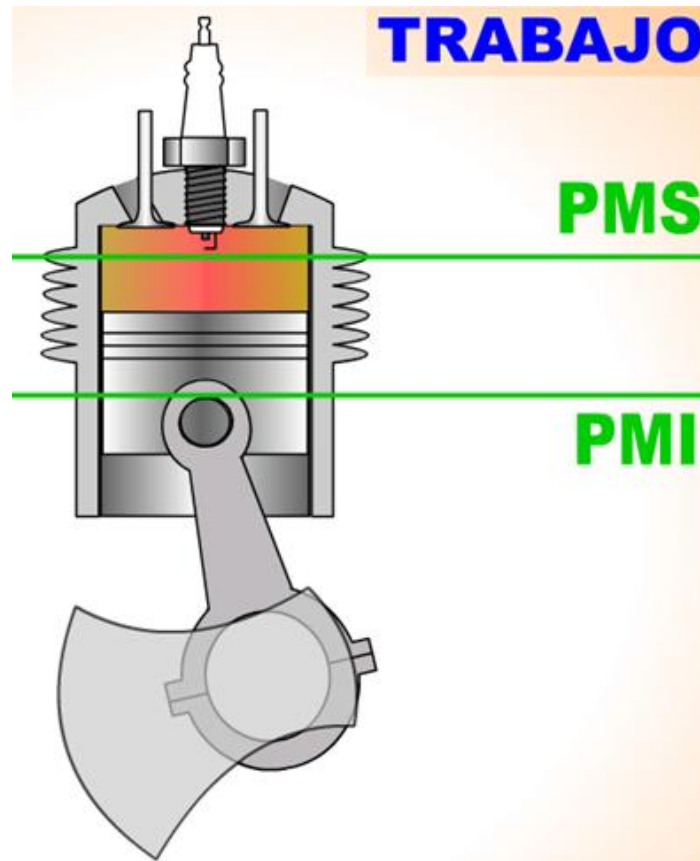
3. *Expansión:*

La gran parte del tiempo restante queda entonces disponible para la dilatación de los gases de combustión que están sometidos a una fuerte tensión de compresión. Con el movimiento de descenso del pistón hasta el PMI se transforma la energía térmica en trabajo mecánico.



3. *Expansión:*

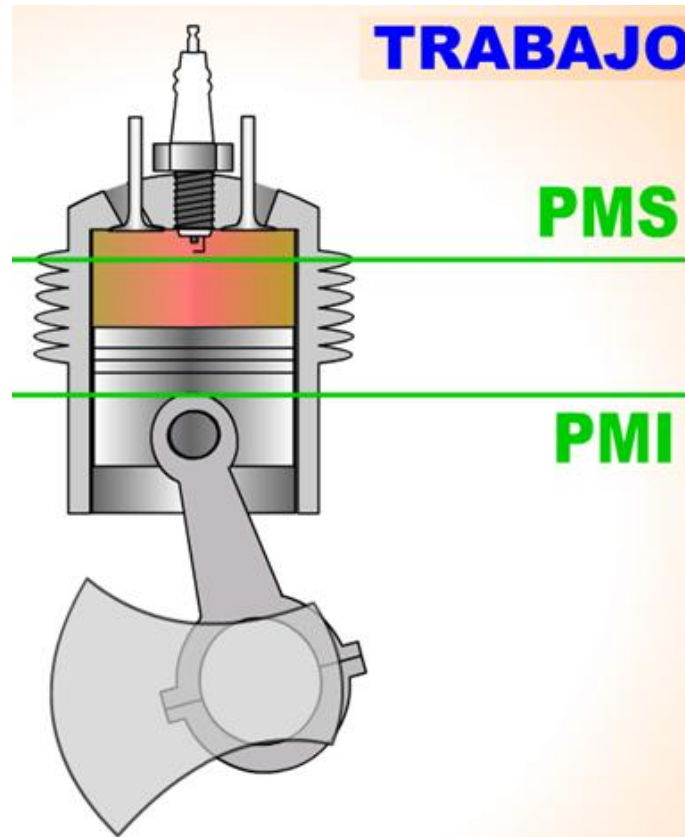
Hasta el final de este tercer tiempo disminuyen la presión y la temperatura aproximadamente 4 a 3 bares y, de 900°C a 800°C, respectivamente.



CICLO REAL

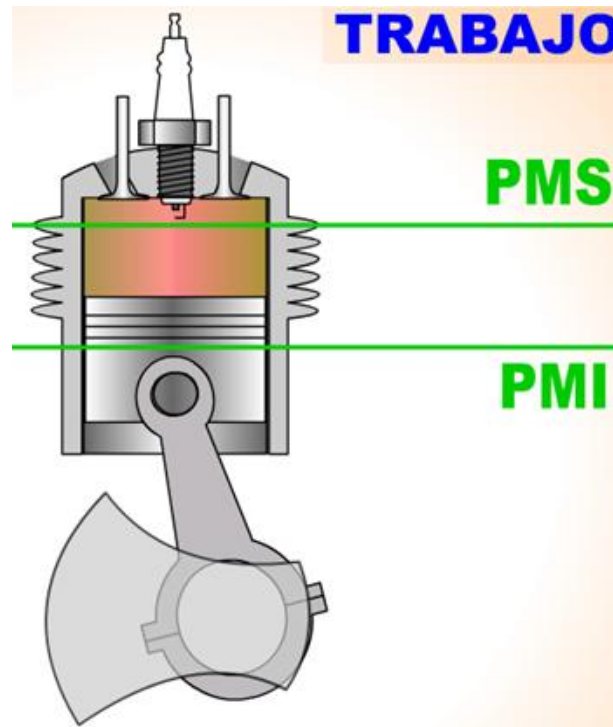
3. *Expansión:*

Realización de la combustión: Para que la combustión pueda tener lugar en poco tiempo, las moléculas de combustible y oxígeno deben estar cerca unas de otras; pues el oxígeno es tomado del aire.



3. *Expansión:*

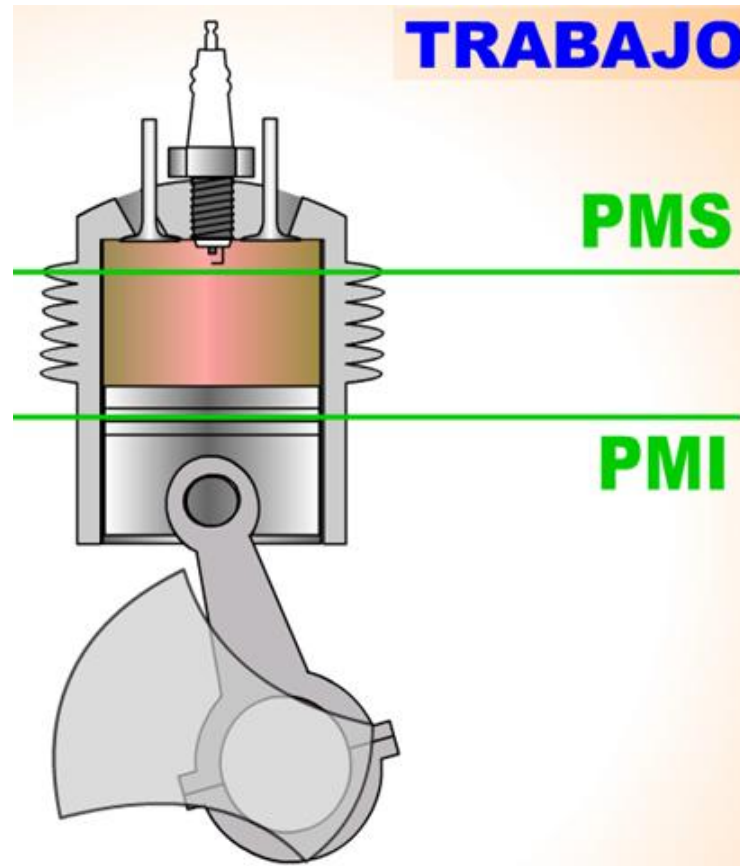
Como el aire contiene alrededor del 20% de oxígeno, el combustible necesita una proporción muy alta de aire para la mezcla. Para la combustión completa de 1 Kg. de gasolina normal, la cantidad mínima de aire necesaria, o necesidad teórica de aire es de unos 14,8 Kg. (12 m³).



CICLO REAL

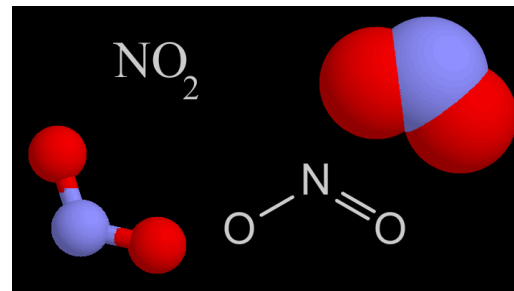
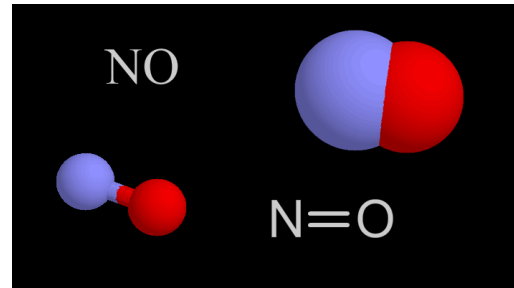
3. *Expansión:*

El carbono contenido en el combustible arde con el oxígeno dando dióxido de carbono, mientras que el hidrógeno del combustible se combina con el oxígeno y da vapor de agua.



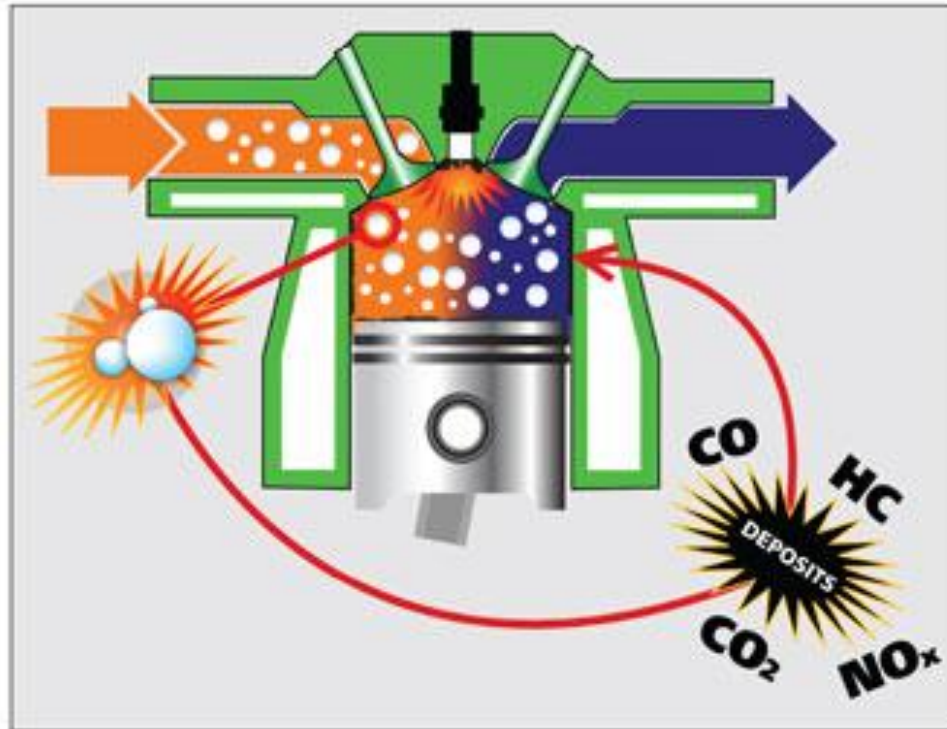
3. *Expansión:*

El nitrógeno contenido en el aire no interviene en la combustión propiamente dicha. Solamente si son altas la presión y la temperatura de combustión se llega a producir óxido nítrico, que es venenoso.



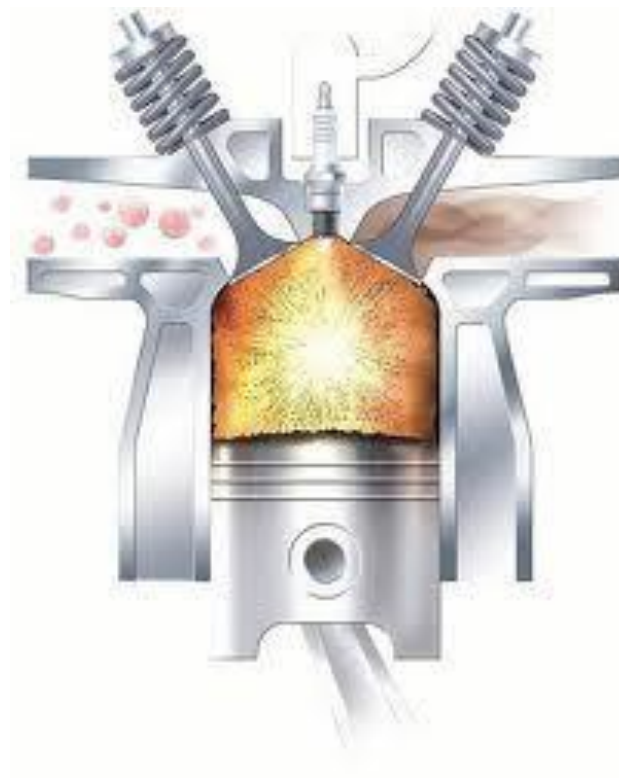
3. *Expansión:*

Si la mezcla combustible-aire es demasiado rica, por ejemplo. 1 Kg. de gasolina y 13 Kg. de aire (1:13), una parte del carbono se convierte al quemarse en monóxido de carbono (tóxico), debido a la escasez de oxígeno.



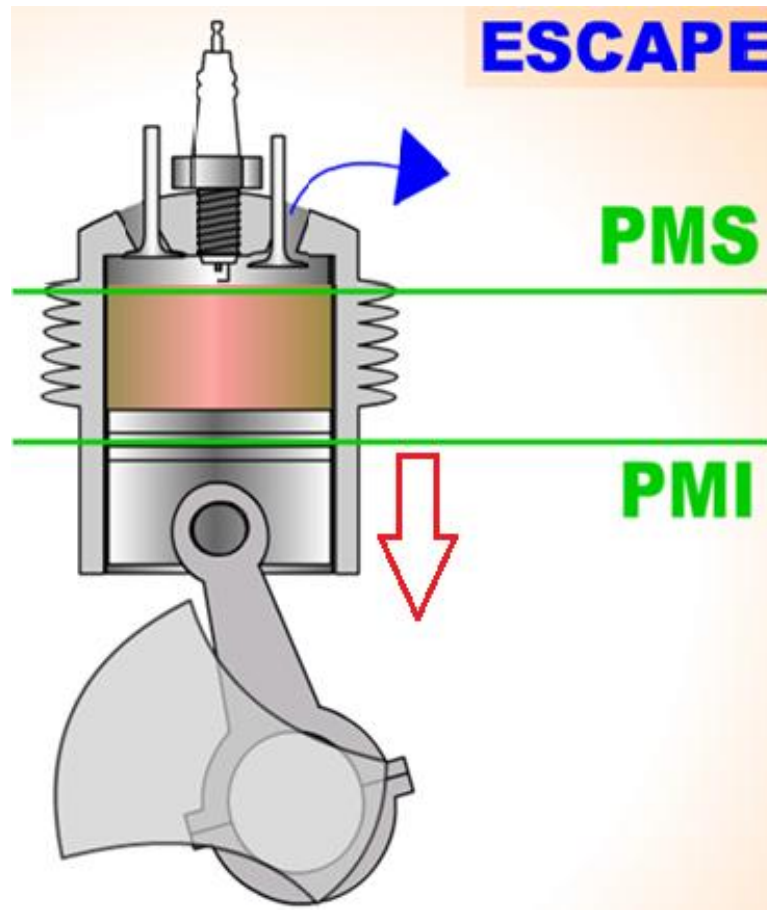
3. *Expansión:*

Si la mezcla combustible-aire es demasiado pobre, por ejemplo 1 Kg. de gasolina y 16 Kg. de aire (1: 16). Es cierto que se tiene una combustión completa, pero la insuficiente refrigeración interna por evaporación del combustible puede dar lugar al recalentamiento del cilindro.



CICLO REAL

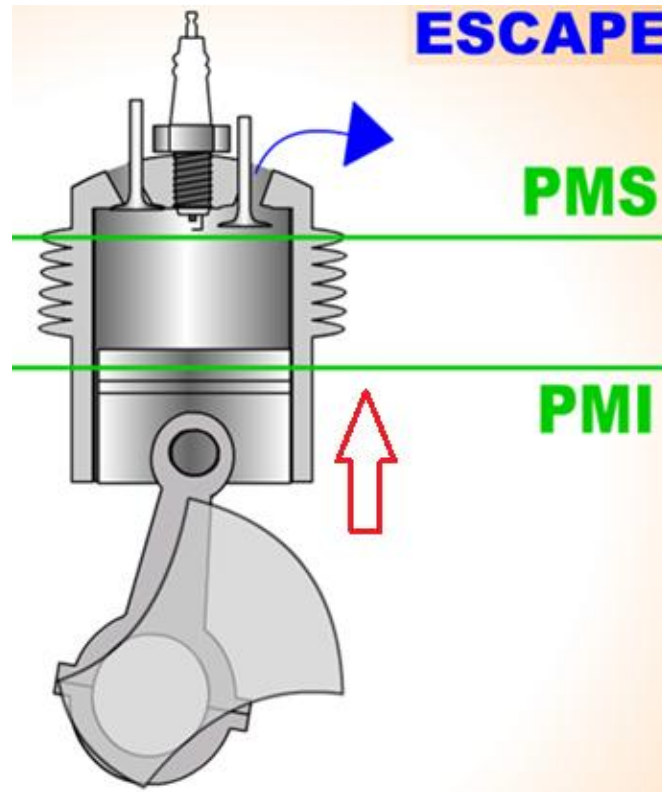
4. **ESCAPE:** aun en la fase expansión con el pistón en descenso hacia el PMI, ya se abre la válvula de escape entre 40° a 90° antes del PMI.



CICLO REAL

4. Escape:

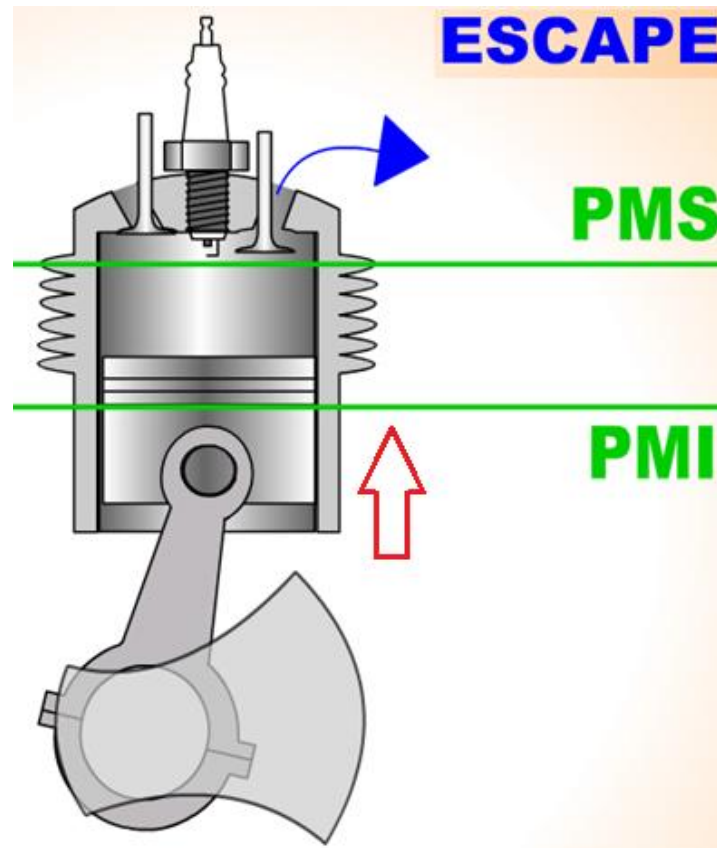
Gracias a la presión de 3 a 4 bar todavía existente, los gases quemados salen del cilindro a la velocidad del sonido, (343 m/s. a 20°C en el aire).



CICLO REAL

4. Escape:

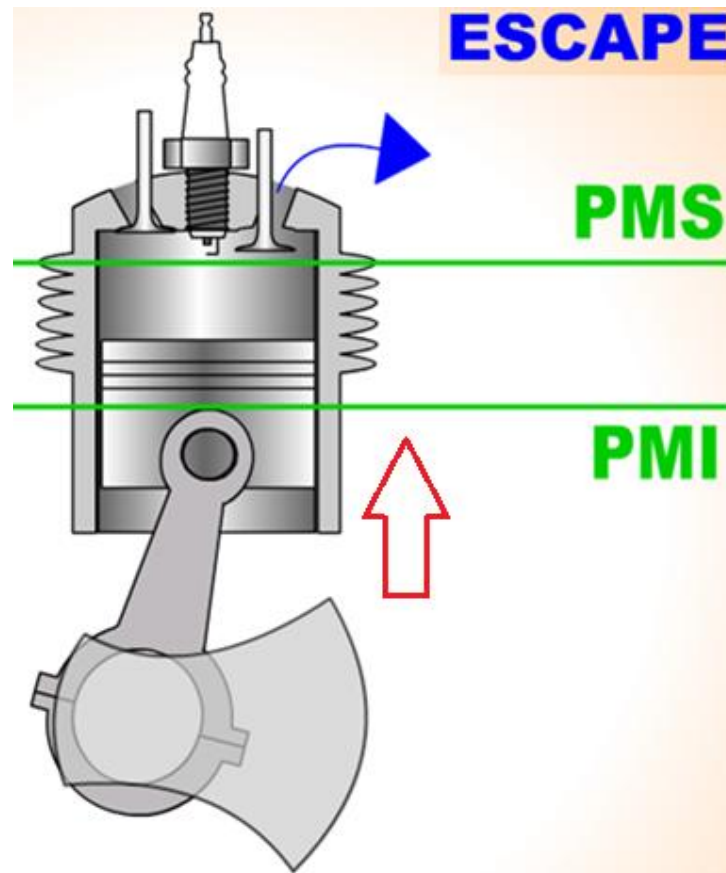
Si no existiese el silenciador, los gases de salida chocarían con el aire exterior y crearían ondas sonoras de alta presión (alto nivel de ruido).



CICLO REAL

4. Escape:

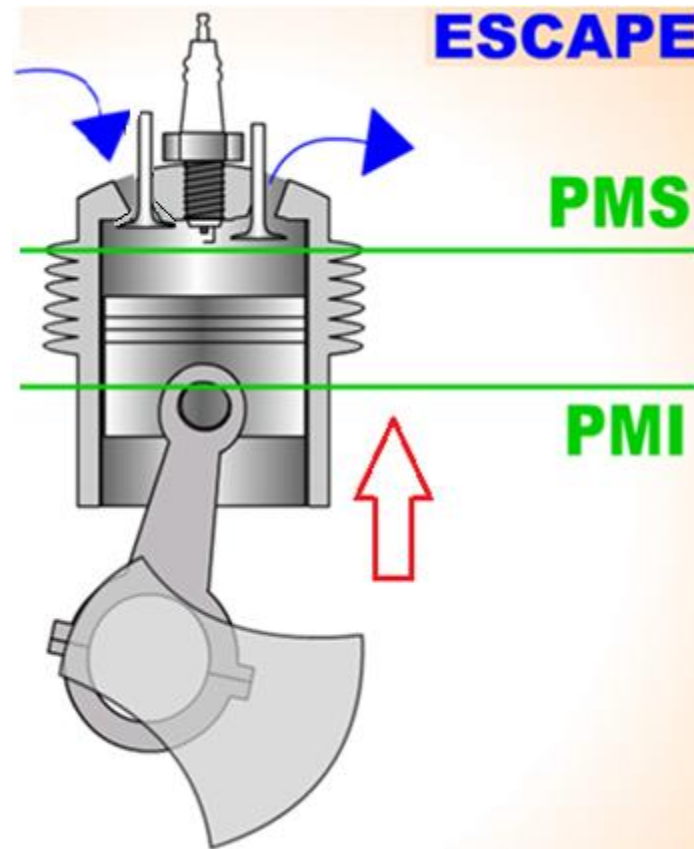
Al subir el pistón expulsa el resto de gases quemados, a una presión residual de unos 0,2 bar.



CICLO REAL

4. Escape:

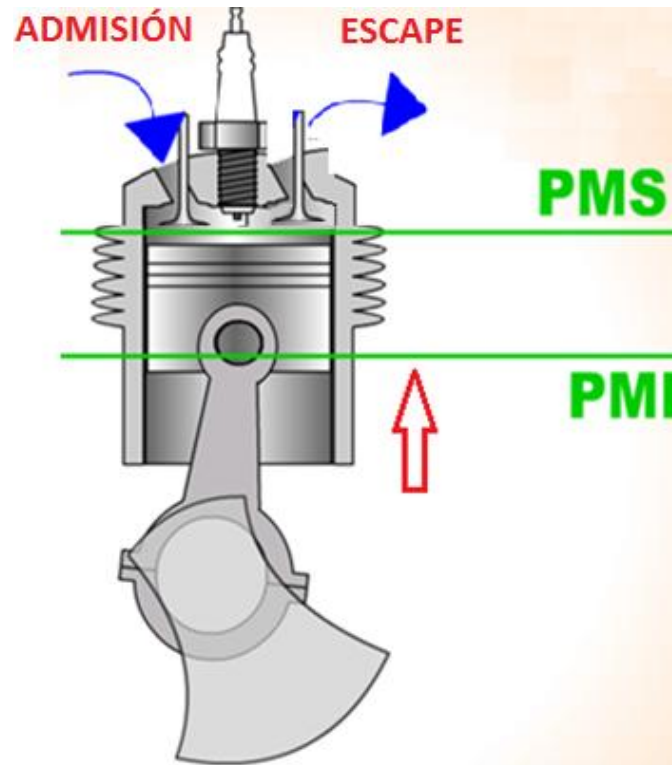
Para favorecer la salida de estos gases, la válvula de escape cierra después del PMS, mientras que la de admisión (VA) comienza ya a abrirse.



CICLO REAL

4. Escape:

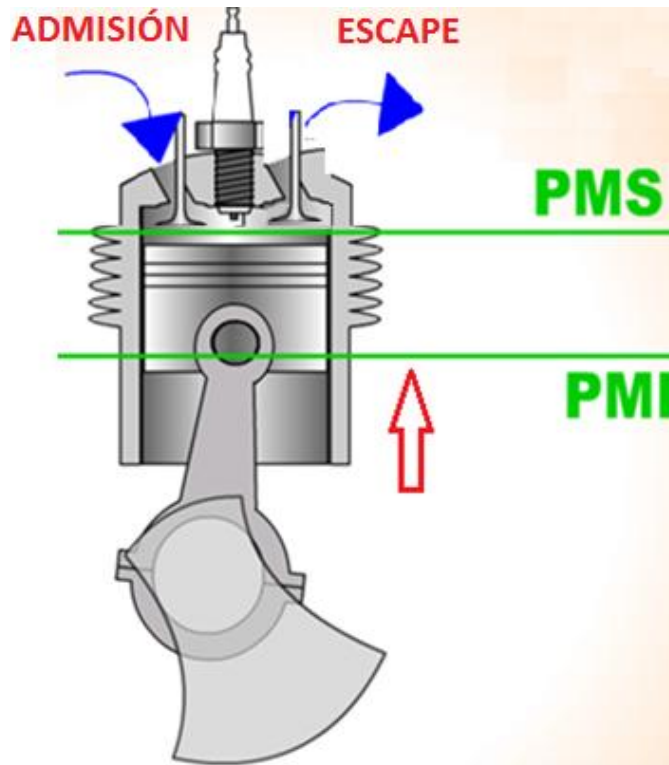
El solapamiento de los tiempos de actuación de las válvulas provoca además del vaciado y refrigeración de la cámara de combustión, la mejora del llenado.



CICLO REAL

4. Escape:

Al instante en el que permanecen abiertas las válvulas de admisión y escape se le conoce como cruce de válvulas (traslapo solapo).



EL MOTOR DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO

DIAGRAMA DE TRABAJO

Si se lleva el transcurso de las presiones durante las cuatro carreras de un ciclo de trabajo sobre el recorrido del pistón obtendremos el diagrama del trabajo producido en el cilindro.

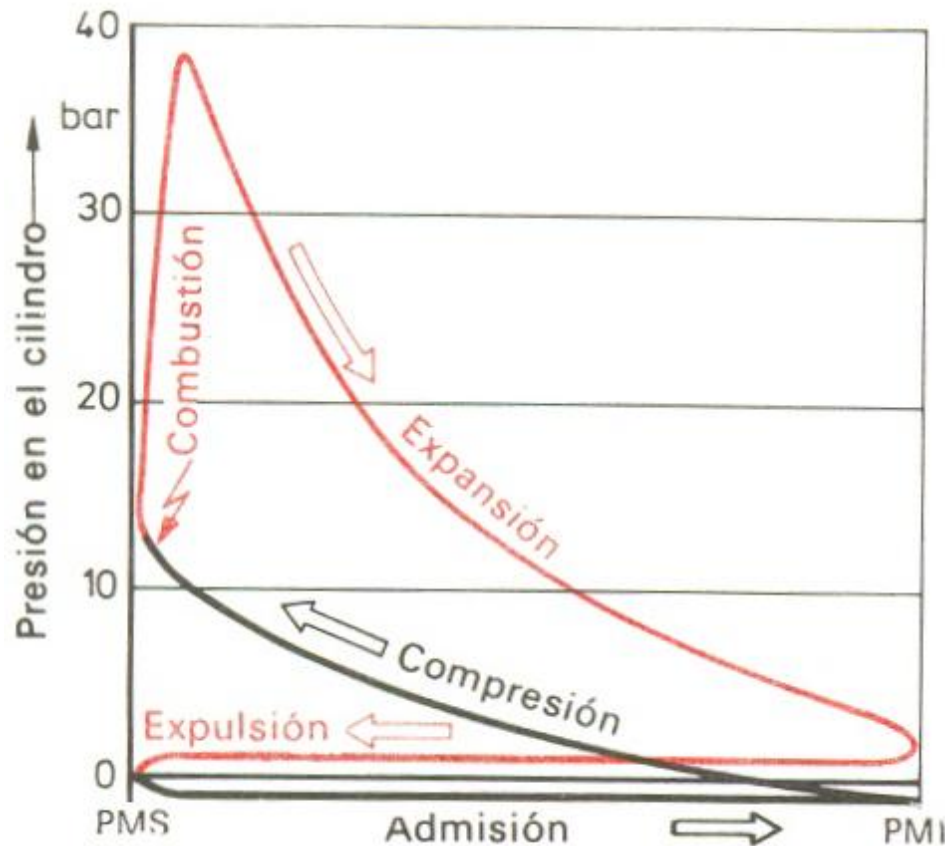


DIAGRAMA DE TRABAJO

Este transcurso de presiones puede, mediante un dispositivo especial (indicador piezoeléctrico) ser tomado en el banco de pruebas con el motor en marcha y ser hecho visible como curva luminosa.

Ver video = <https://www.youtube.com/watch?v=Ft-3Fm2xRmU>

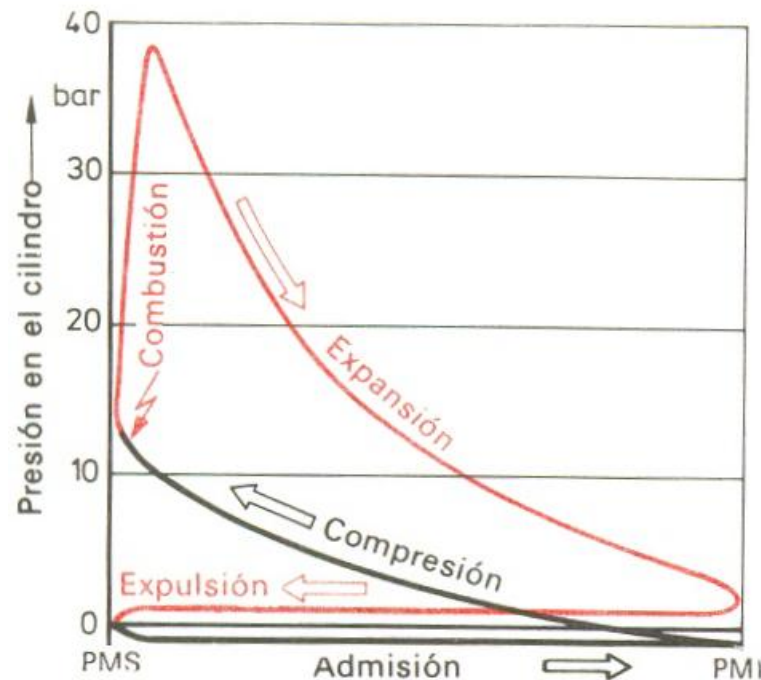
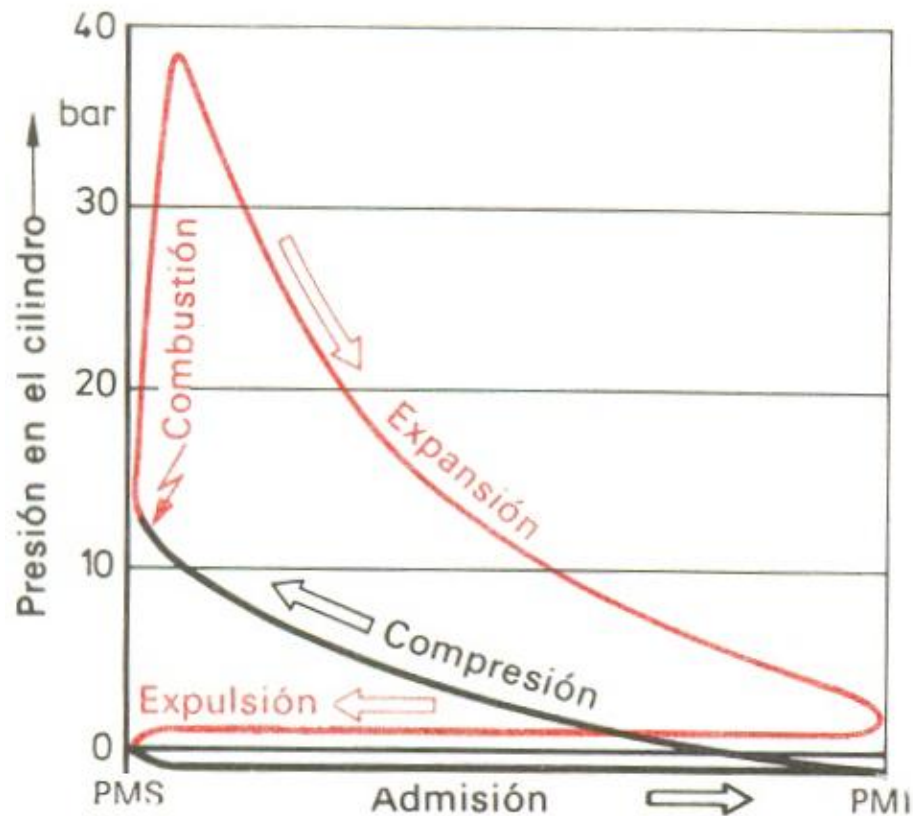


DIAGRAMA DE TRABAJO

Las grandes discrepancias respecto al transcurso normal de presiones (curva de presiones normal) permiten detectar defectos en el ajuste del motor (formación de la mezcla, ajuste del encendido, compresión) y también la aparición de fenómenos de pistoneo.



EL MOTOR DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO

DIAGRAMA DE MANDO

Si se disponen los tiempos de abertura y cierre de las válvulas de admisión y de escape como ángulo de la rotación del cigüeñal en grados, se obtiene el diagrama de mando o de maniobra que nos da una visión sobre los tiempos de maniobra de las válvulas y de solape de las mismas.

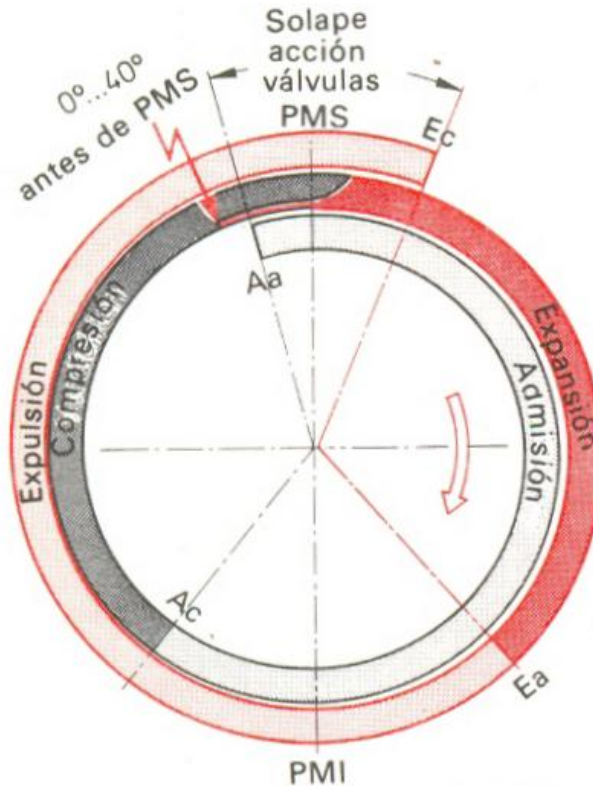


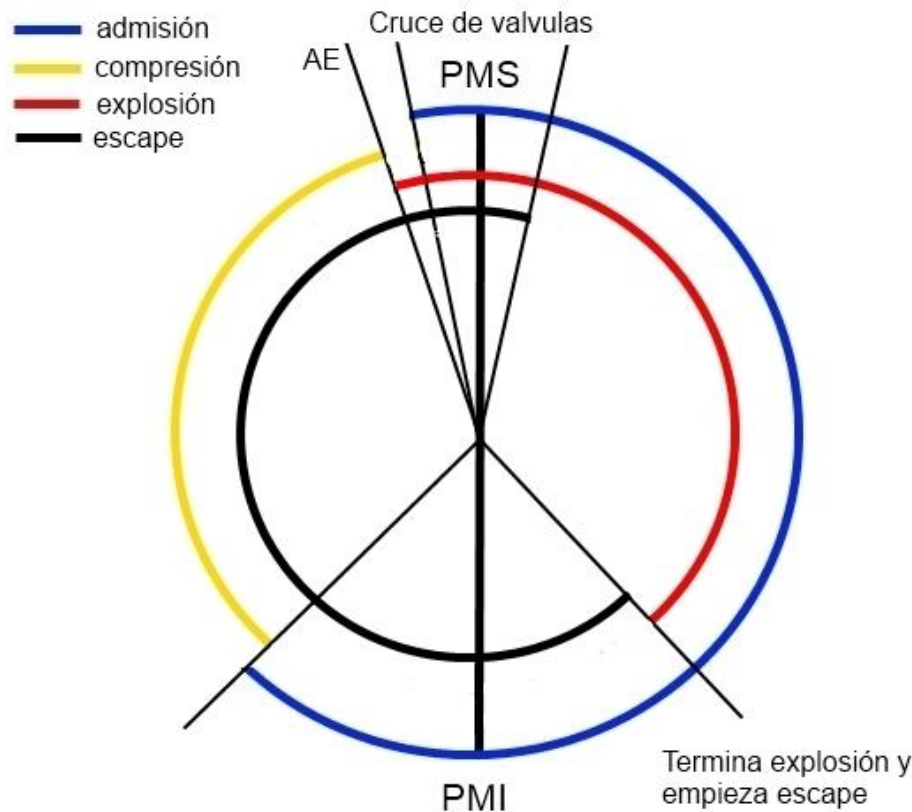
DIAGRAMA DE MANDO

Los tiempos de abertura de las válvulas y la forma de las levas de mando se determinan para cada tipo constructivo mediante ensayos de tal modo que el motor dé la potencia máxima o momento de giro posibles.

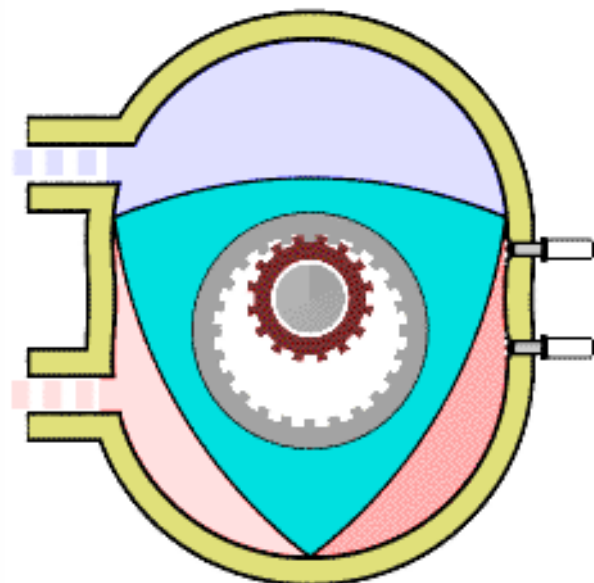
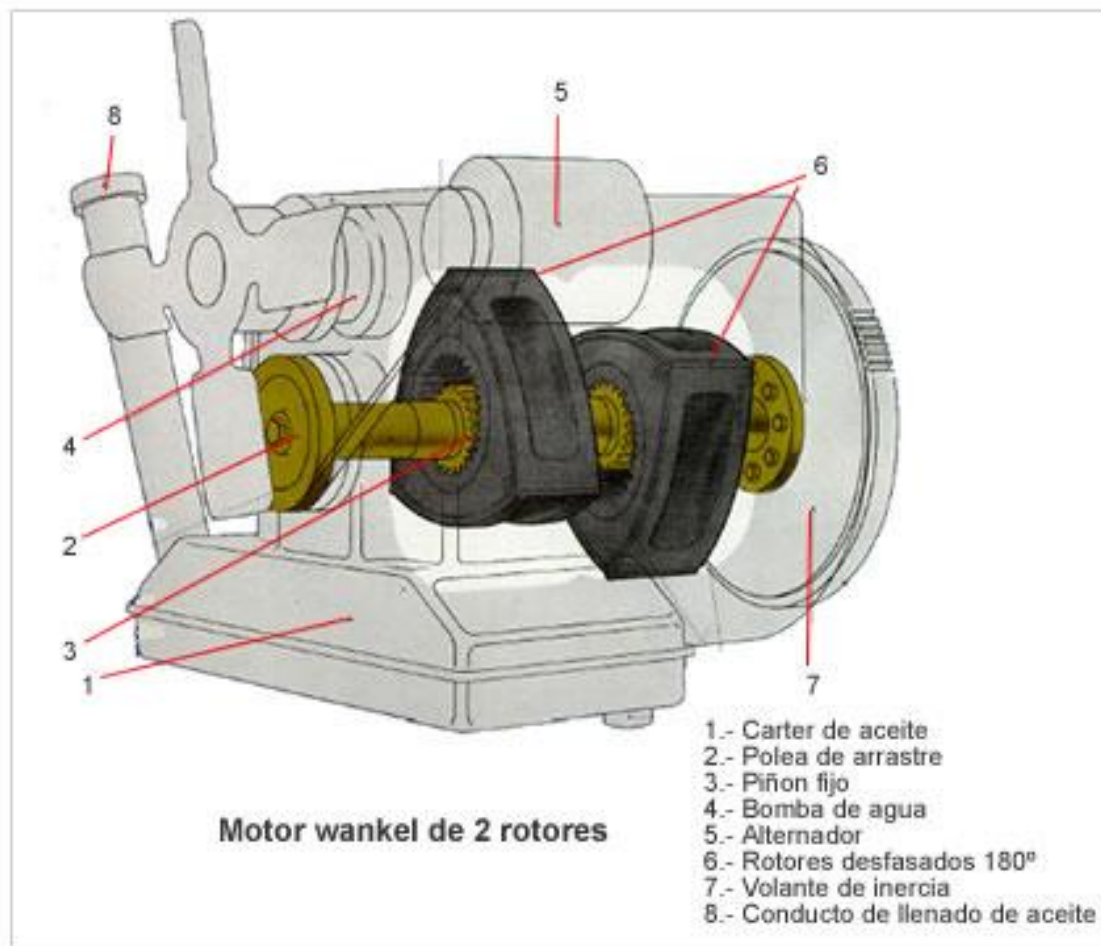


DIAGRAMA DE MANDO

Por regla general, los ángulos desde la abertura de la válvula hasta su cierre son tanto más grandes cuanto más elevado es el número de revoluciones del motor.



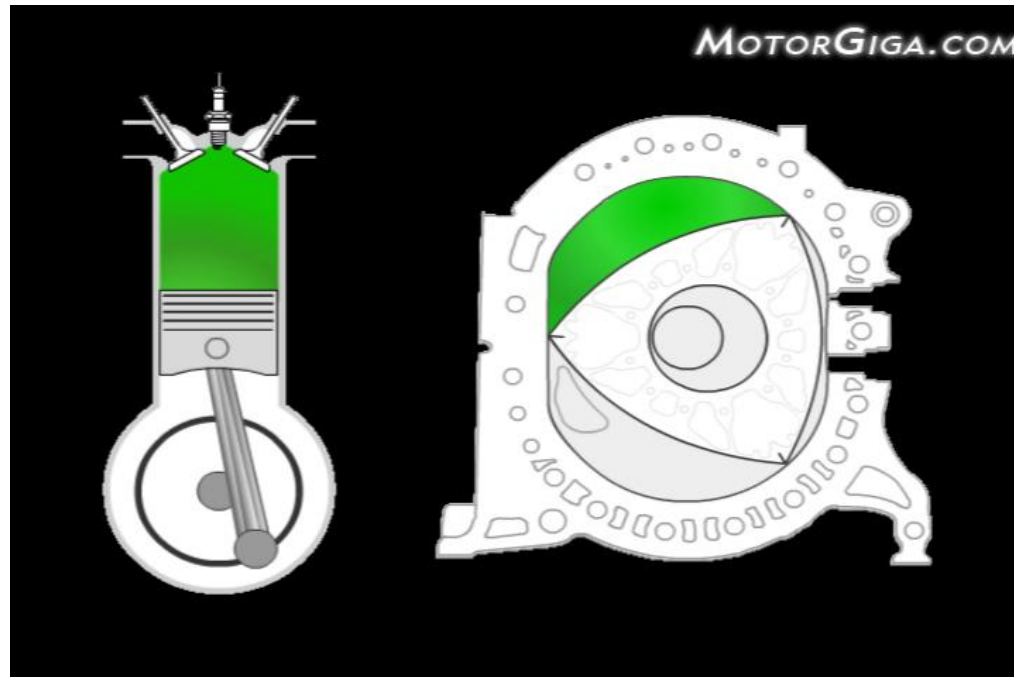
EL MOTOR ROTATIVO



EL MOTOR ROTATIVO

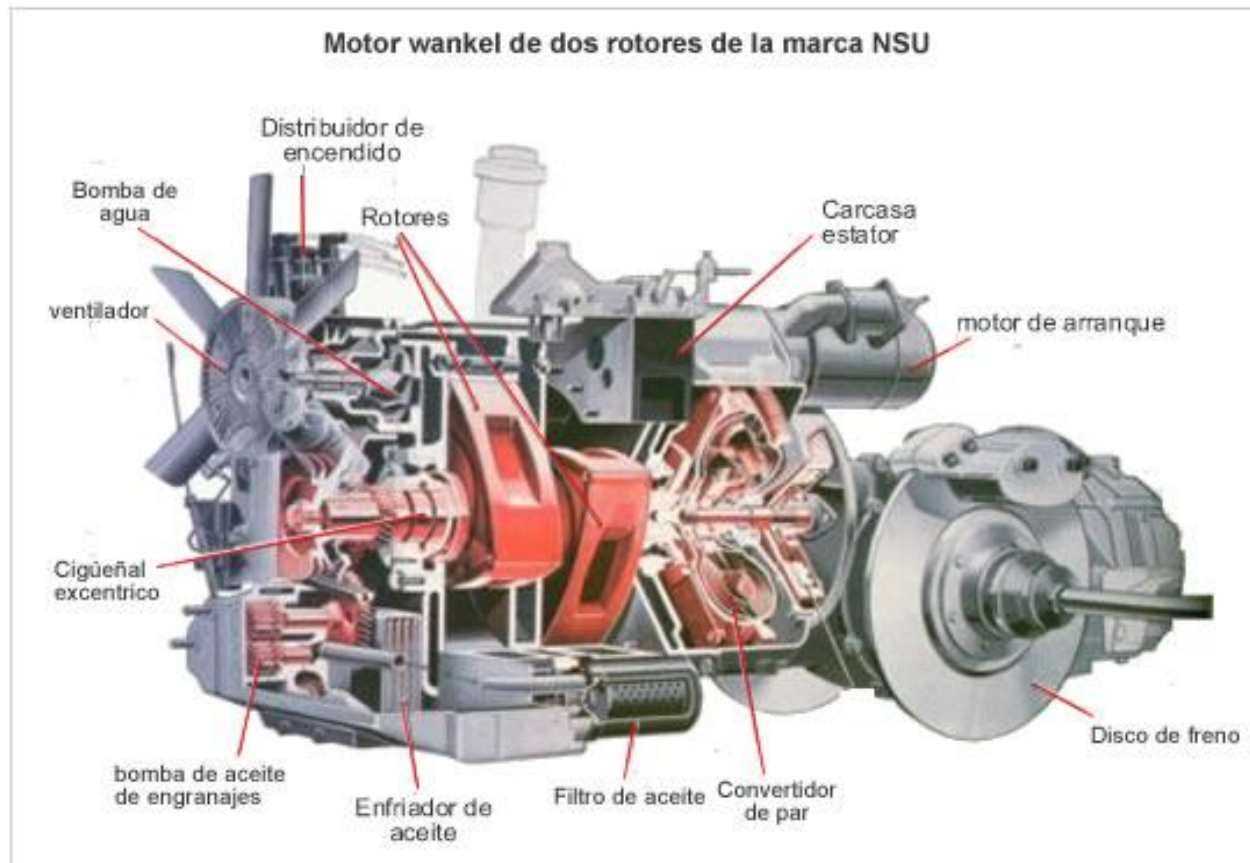
HISTORIA

Fue patentado por Félix Wankel en 1958 y perfeccionado por el Dr. Froede; más tarde aparece con el doble nombre de Wankel NSU ya que proviene de la colaboración de la casa NSU con Félix Wankel; (NSU – MAZDA).



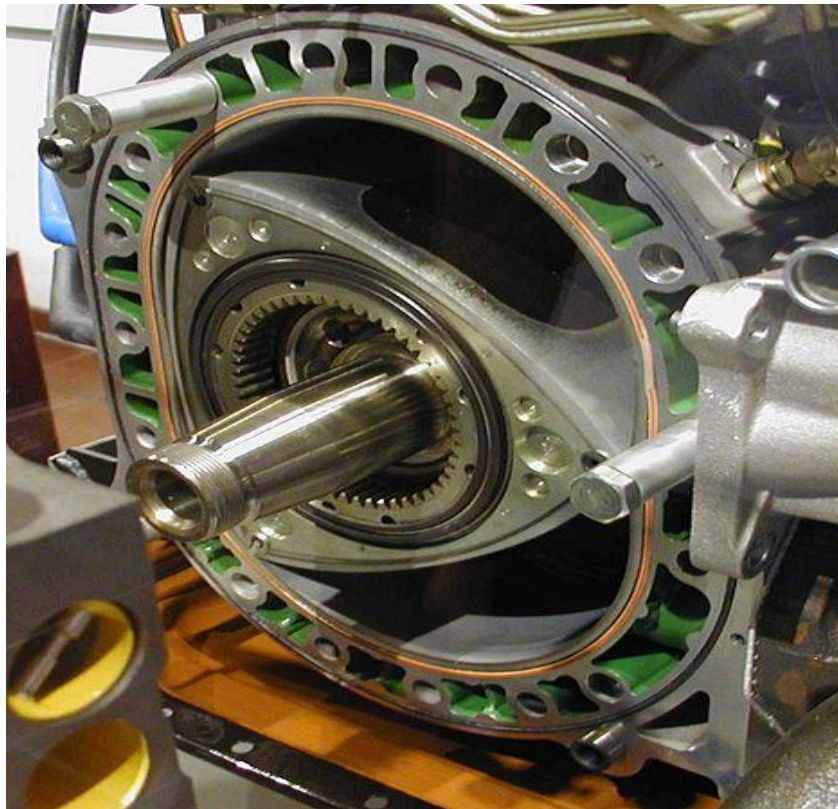
EL MOTOR ROTATIVO

Este motor es conocido comúnmente como el motor rotativo; pero técnicamente se lo debe llamar, motor de pistón rotativo.



EL MOTOR DE PISTON ROTATIVO

En el motor alternativo el pistón realiza un movimiento de vaivén que tiene que ser transformado en movimiento de rotación a través del mecanismo constituido por la biela y el cigüeñal.



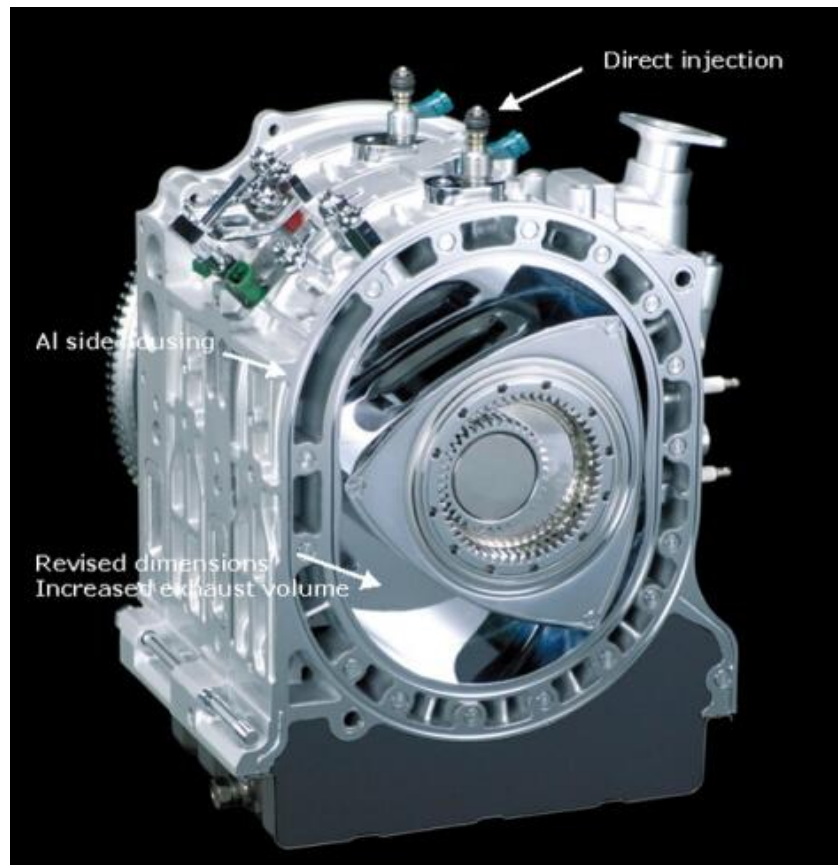
EL MOTOR DE PISTON ROTATIVO

En el motor de pistón rotativo el pistón gira y produce directamente trabajo rotatorio, en el proceso de expansión.



EL MOTOR DE PISTON ROTATIVO

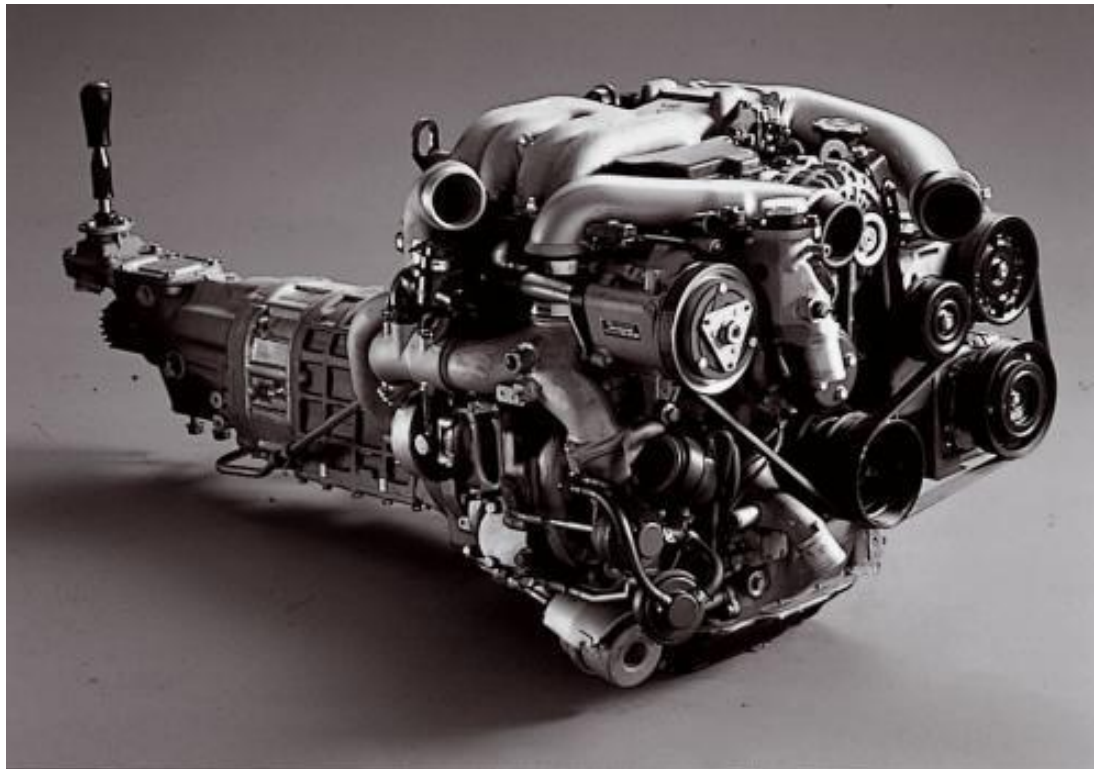
En virtud de no existir la aceleración ni desaceleración de las masas del movimiento de vaivén se obtiene para un mismo peso del motor un mayor número de revoluciones y por eso una mayor potencia.



EL MOTOR DE PISTÓN ROTATIVO

CARACTERÍSTICAS

- Compacto, liviano.
- Carece de distribución.
- Funciona como un motor de 2T y de 4T.



EL MOTOR DE PISTÓN ROTATIVO

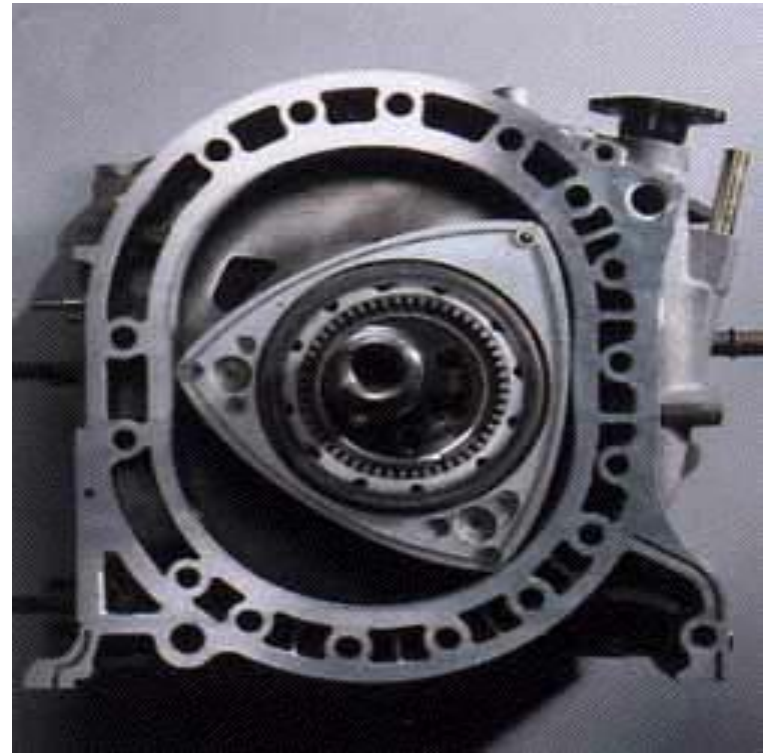
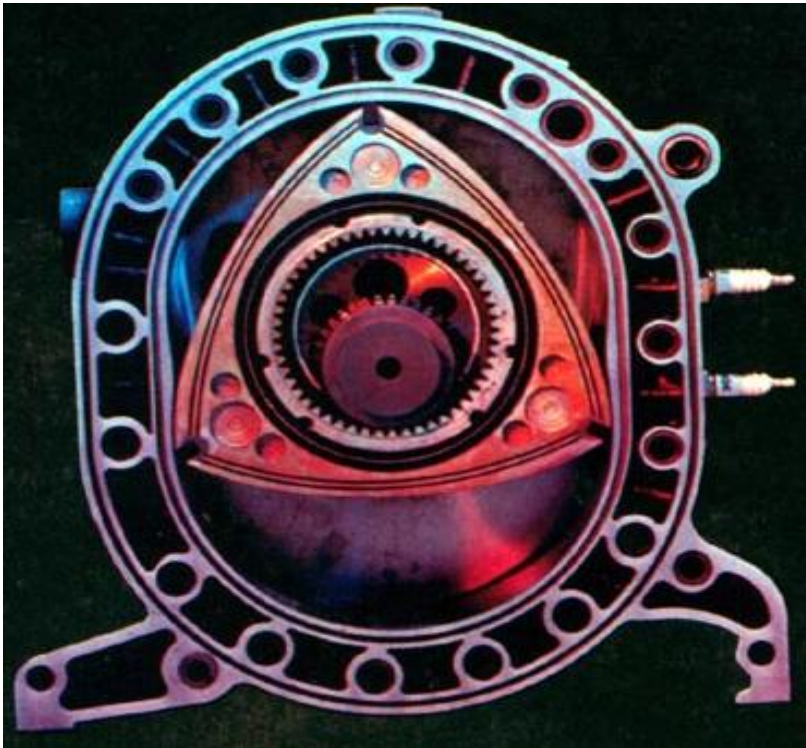
CONSTITUCIÓN

El motor Wankel NSU se designa como motor de pistón rotativo porque el centro de gravedad del pistón que gira con movimiento uniforme describe una trayectoria circular.



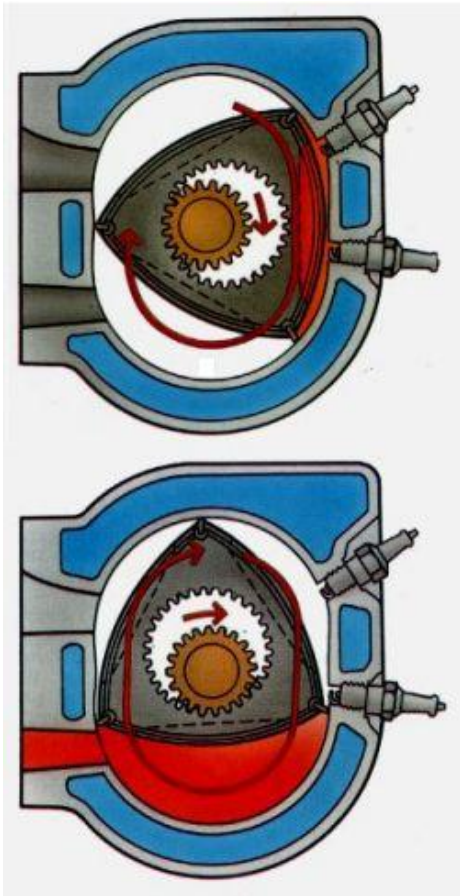
CONSTITUCIÓN

La camisa refrigerada por agua, cuya sección es un perfil curioso (curva epitrocoidal), tiene por un lado del perímetro un canal de admisión (admisión perimetral) y un canal de escape.



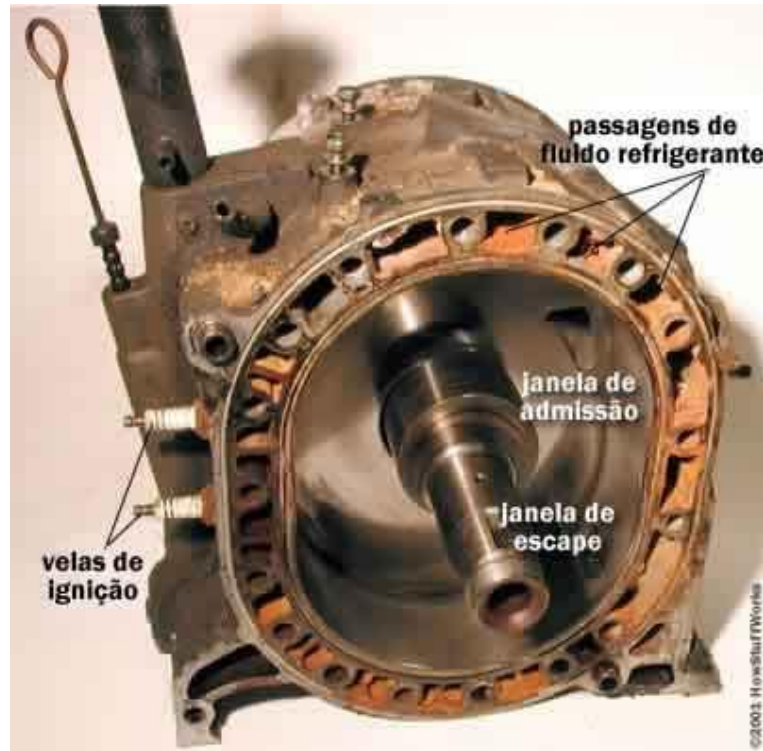
CONSTITUCIÓN

Enfrente de estos canales va colocada una o dos bujías. El canal de admisión puede estar también en la parte lateral (admisión lateral).



CONSTITUCIÓN

La camisa es de metal ligero, la superficie de rodadura lleva una capa de cromo o NIKA-SIL (procedimiento por el cual se deposita galvánicamente una capa de níquel resistente al desgaste, provista de cristales de carburo de silicio) para reducir el desgaste.



CONSTITUCIÓN

El material de revestimiento del epitrocoide se lo denominaba también NILRESISTEN. Concéntricamente al eje central de la camisa se encuentra la rueda dentada fija unida a la parte lateral correspondiente.



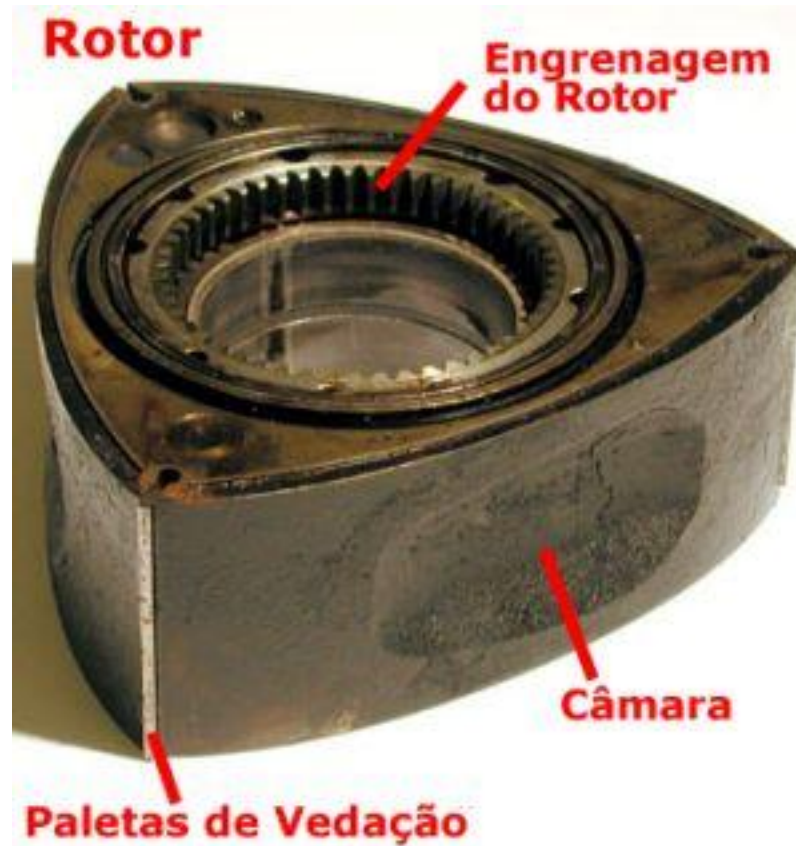
CONSTITUCIÓN

Por el centro de la camisa y la rueda dentada lateral fija pasa el árbol de excéntrica; que apoya en las partes laterales.



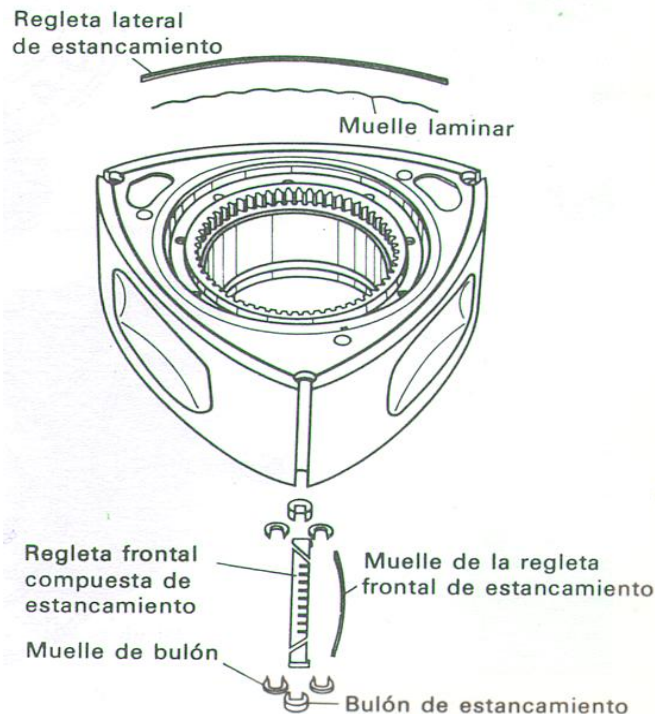
CONSTITUIÇÃO

El pistón gira sobre la excéntrica, unida fijamente a su eje. Su forma es semejante a la de un triángulo curvilíneo cuyos vértices están designados en con A, B y C.



CONSTITUCIÓN

El pistón cierra mediante elementos de estancamiento aplicados contra la camisa y todas las superficies laterales de contacto. En uno de sus lados, el pistón lleva un dentado interior que rueda sobre la rueda dentada lateral fija.



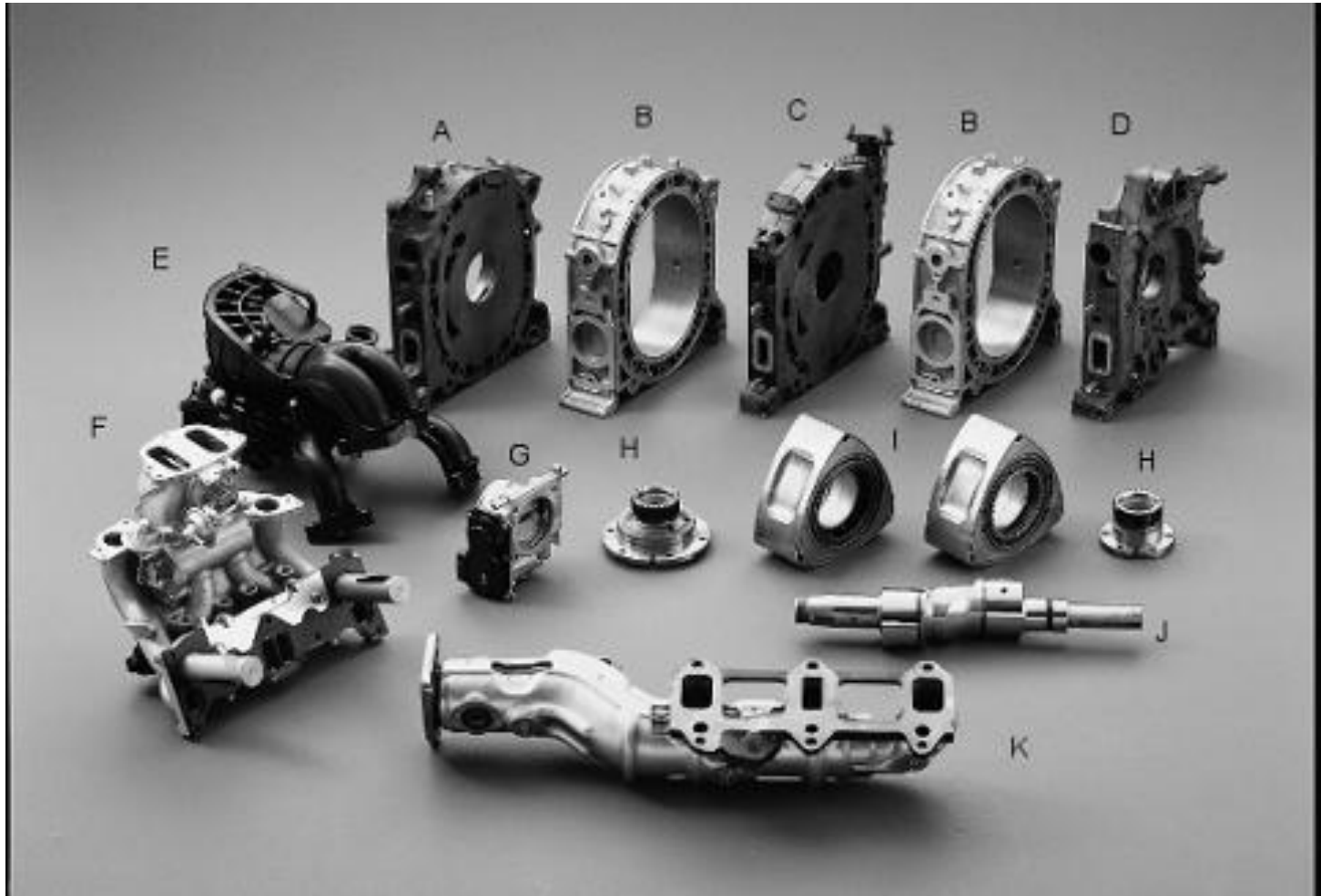
CONSTITUCIÓN

Al rodar, este dentado no efectúa ningún tipo de transmisión de fuerzas ya que sólo guía el pistón, que así gira siempre en correlación correcta con respecto a las revoluciones del eje de excéntrica y la rotación en la camisa. El número de dientes de la rueda dentada lateral fija y el dentado interior del pistón están en la relación "2 : 3".



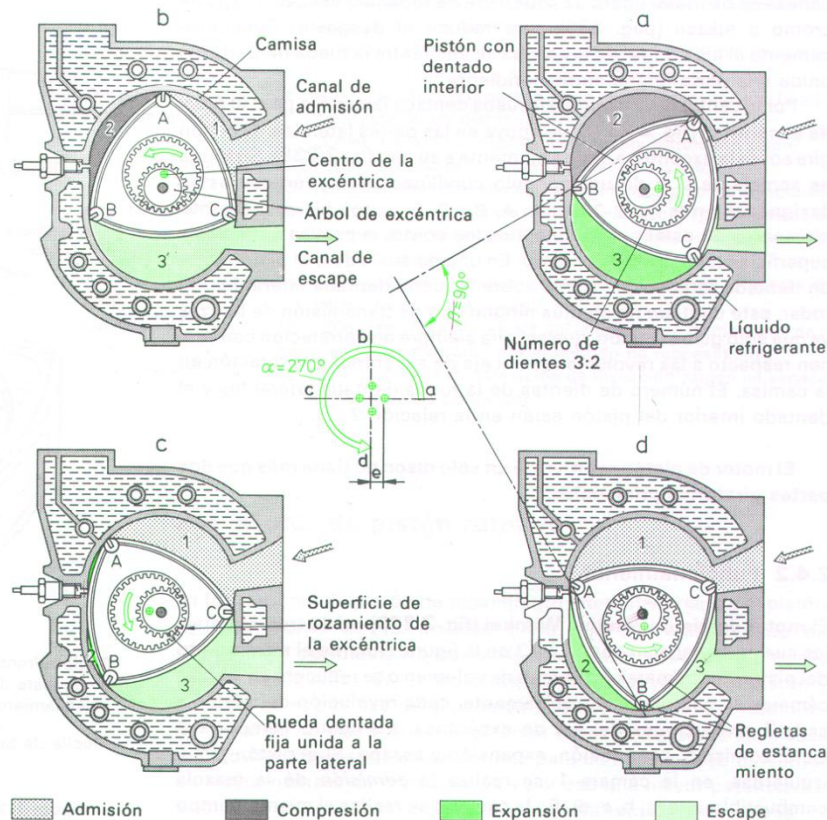
CONSTITUCIÓN

El motor de pistón rotativo de un solo disco no tiene más que dos partes giratorias principales.



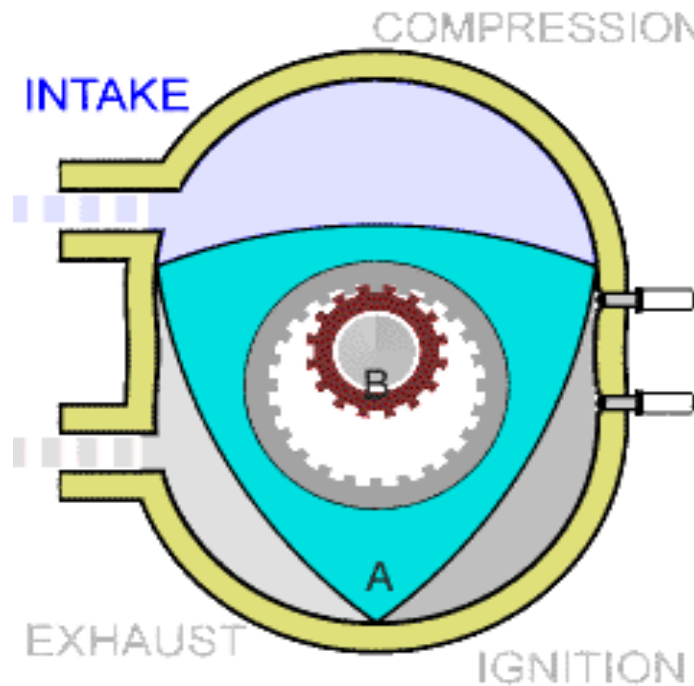
EL FUNCIONAMIENTO

El motor de pistón rotativo Wankel es de tres cámaras, las cuales se señalan con 1, 2 y 3 en la figura. Durante el movimiento del pistón, las cámaras aumentan de volumen o se reducen.



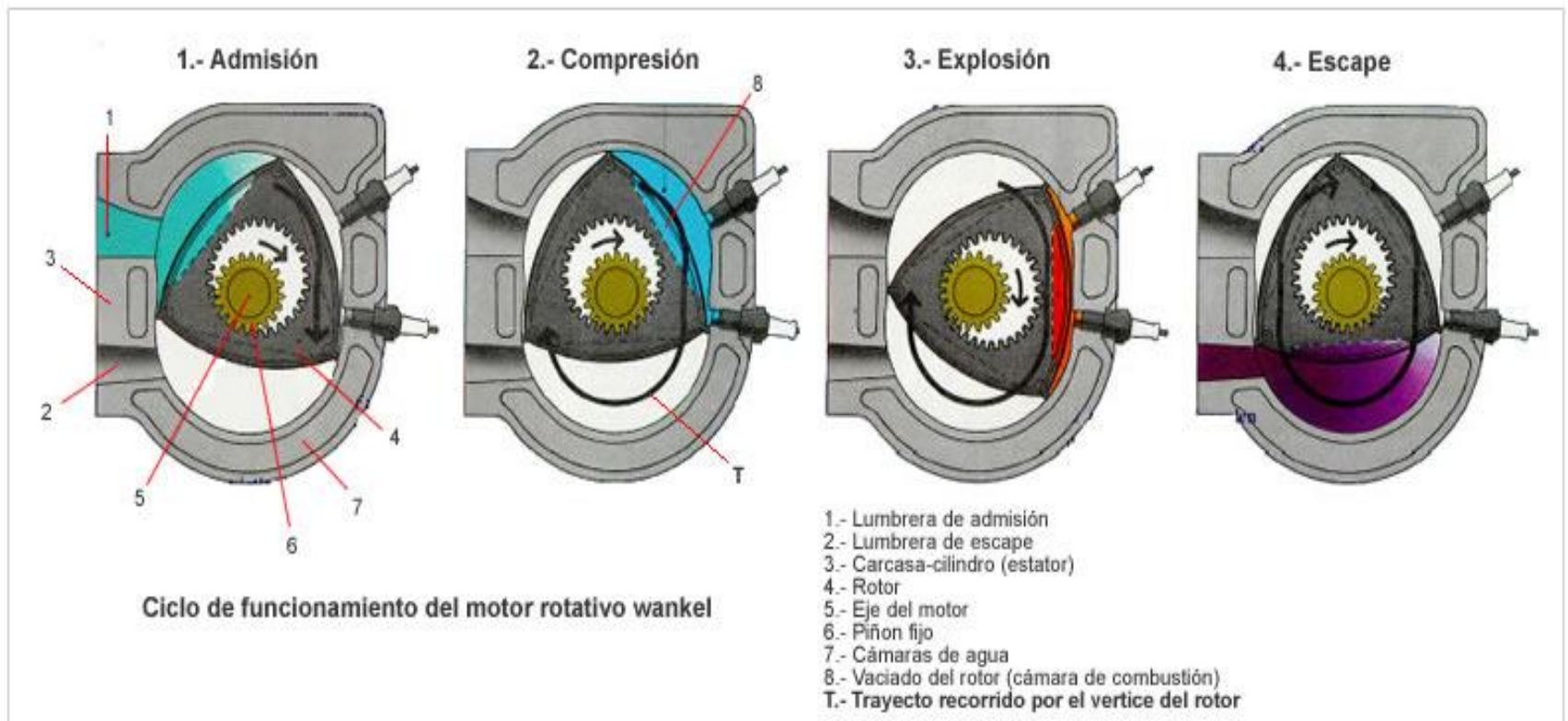
FUNCIONAMIENTO

En las tres cámaras se completan sucesivamente, cada revolución del pistón y cada 3 revoluciones del eje de excéntrica, los cuatro tiempos del ciclo: admisión, compresión, expansión y escape.



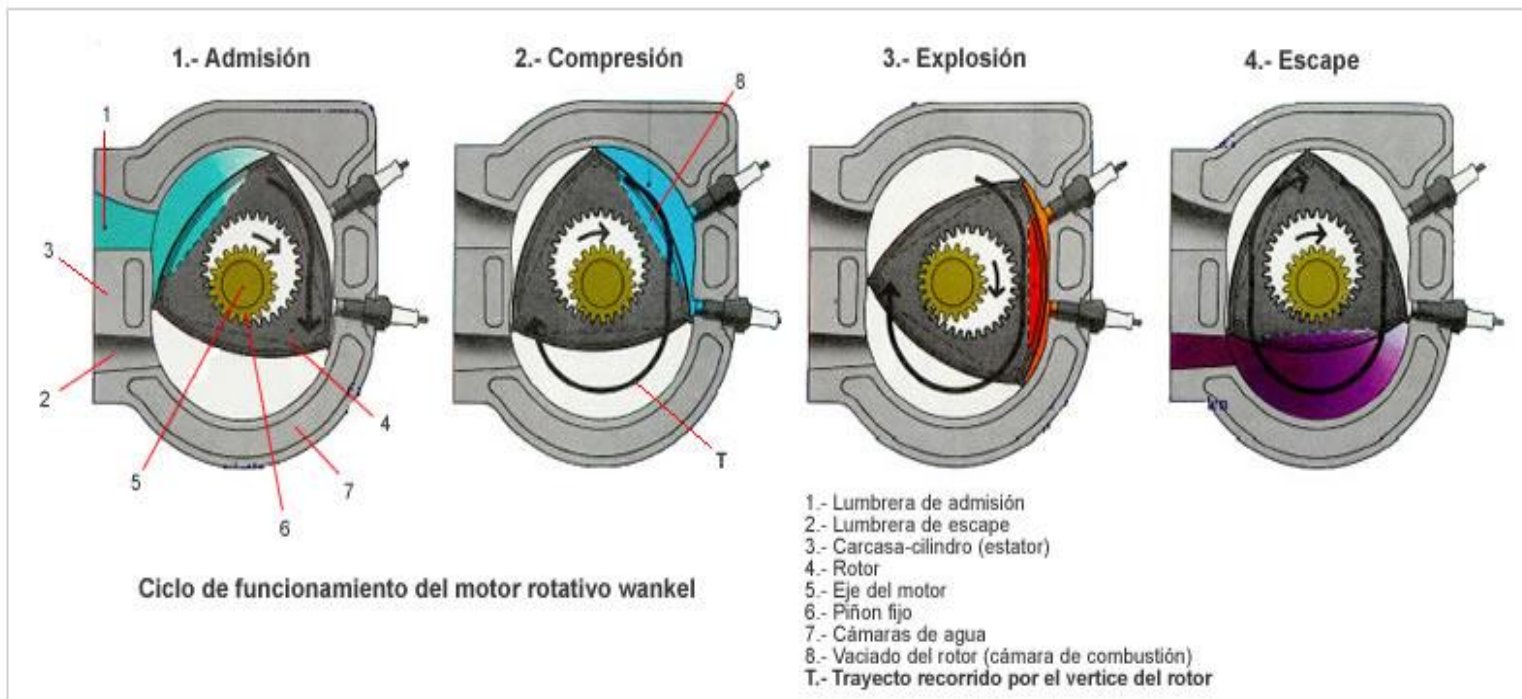
FUNCIONAMIENTO

Si el pistón gira a izquierdas, en la cámara 1 se realiza la admisión de la mezcla combustible-aire (a, b, c, d). En la cámara 2 se realiza al mismo tiempo la compresión (a, b, c). Al terminar la compresión se produce el encendido (c). Al



FUNCIONAMIENTO

Al terminar la compresión se produce el encendido (c). Entonces, los gases en expansión de la cámara 2 expanden y hacen girar hacia la izquierda el pistón que está apoyado excéntricamente (c d). Ahora, el pistón se apoya con su dentado interior en la rueda dentada lateral fijada a la parte lateral del motor y ejerce un momento de giro sobre el árbol de excéntrica.



FUNCIONAMIENTO

El árbol de excéntrica desempeña, pues, en el motor de pistón rotativo las funciones del cigüeñal en el motor de pistón alternativo.



FUNCIONAMIENTO

En lugar de actuar indirectamente la fuerza del pistón por medio de la biela, el momento de giro del pistón rotativo actúa directamente sobre el árbol de excéntrica. En la cámara 3 se completa al mismo tiempo la expansión (a); a continuación se realiza el escape (b, c, d).



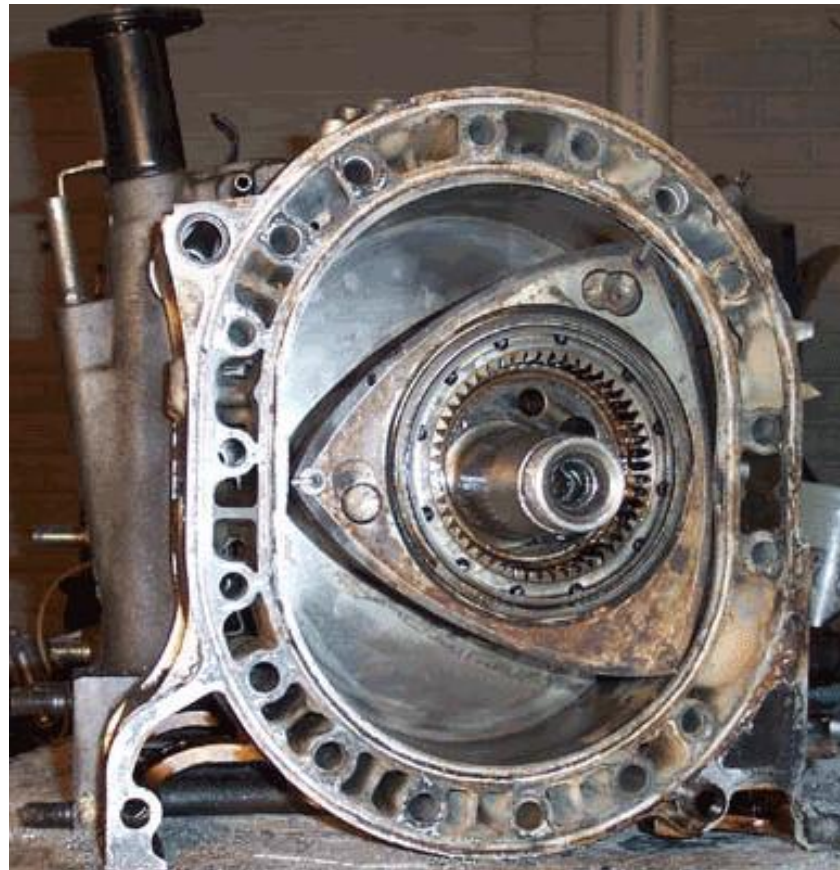
FUNCIONAMIENTO

Mientras el árbol de excéntrica gira 270° , es decir que el centro (+) de la excéntrica recorre 270° a la izquierda (ángulo φ), el lado A-B del pistón sólo recorre 90° en el mismo sentido de giro (ángulo φ). Por lo tanto, a cada 3 revoluciones del eje de la excéntrica corresponde solamente una revolución del pistón con 3 tiempos de expansión.



FUNCIONAMIENTO

Esto significa que el pistón sólo avanza un tercio del número de revoluciones de eje de excéntrica y, por consiguiente se retrasa en dos tercios con respecto al número de revoluciones del mismo eje.



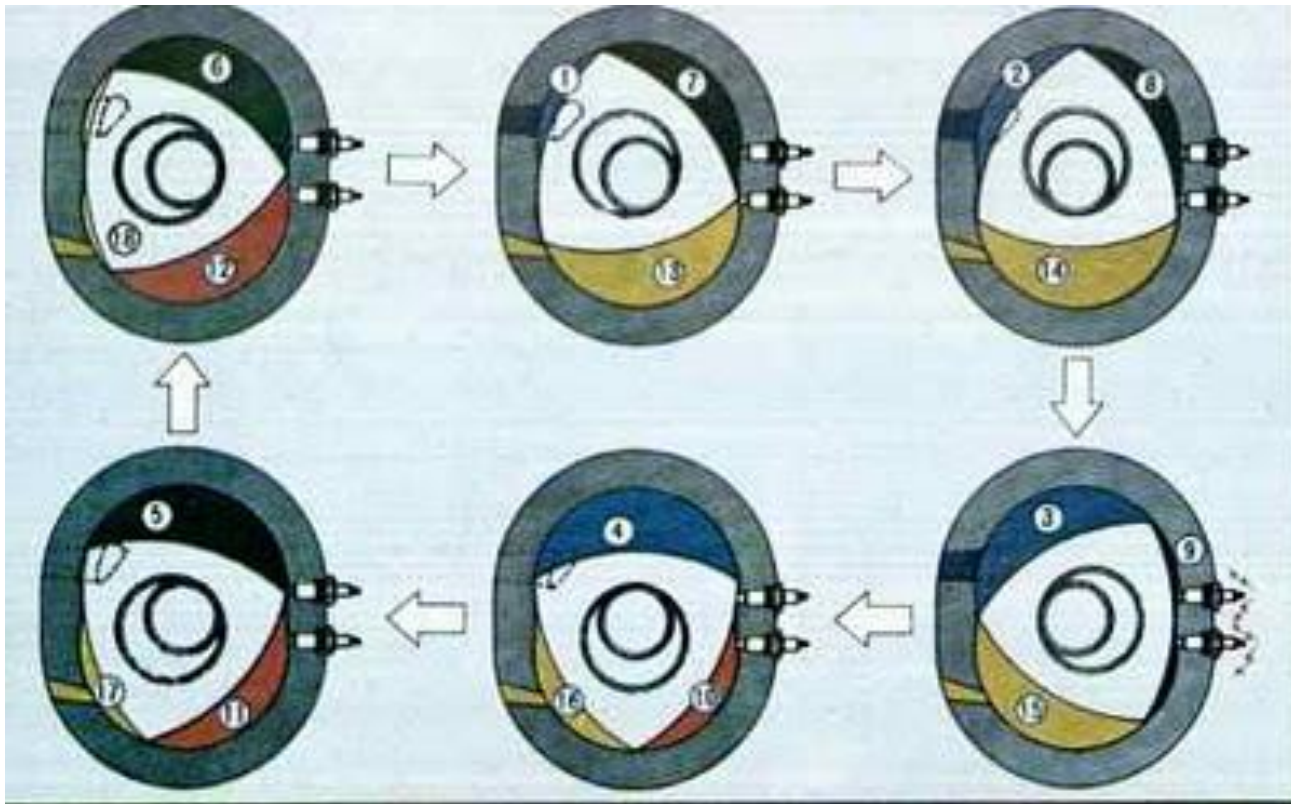
FUNCIONAMIENTO

De esta manera, a pesar del elevado número de revoluciones del árbol de excéntrica, el desgaste de los elementos de estanqueidad, de la camisa y de las superficies laterales se mantiene reducido. Como número de revoluciones del motor se da el del árbol de excéntrica.



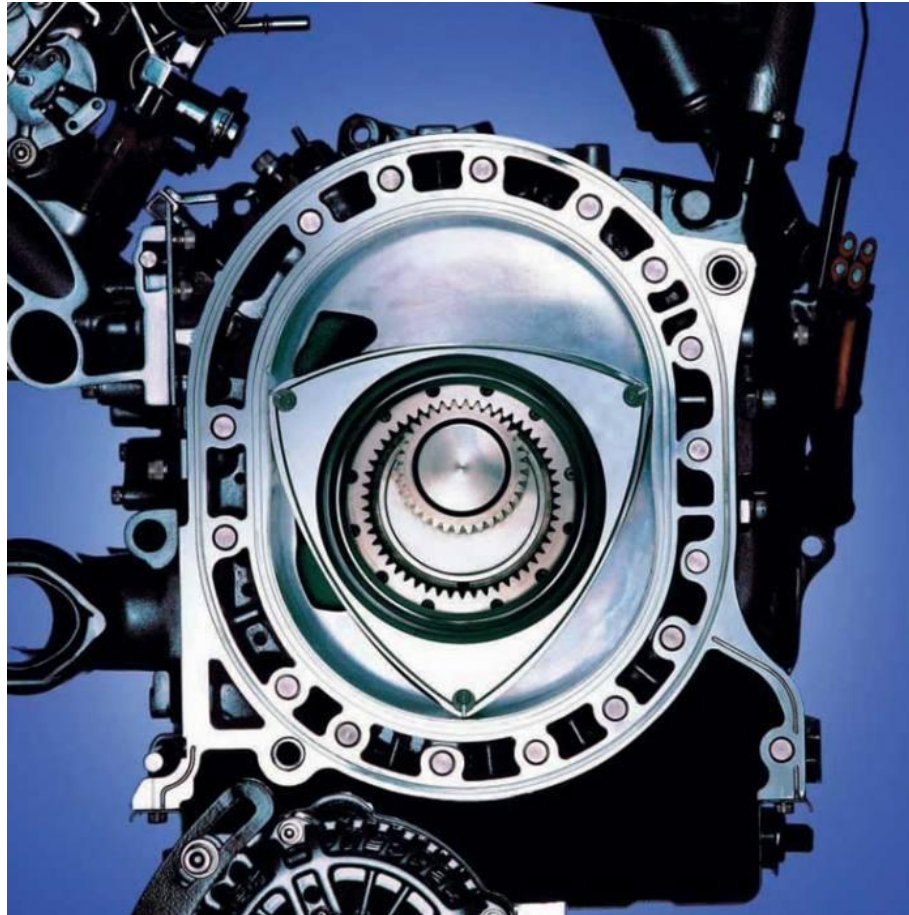
FUNCIONAMIENTO

El motor de pistón rotativo, al igual que el motor Otto de dos tiempos, no necesita órganos especiales de distribución. Asimismo, al igual que en un motor de dos tiempos de un solo cilindro, en una revolución del cigüeñal se desarrolla un ciclo completo de trabajo.



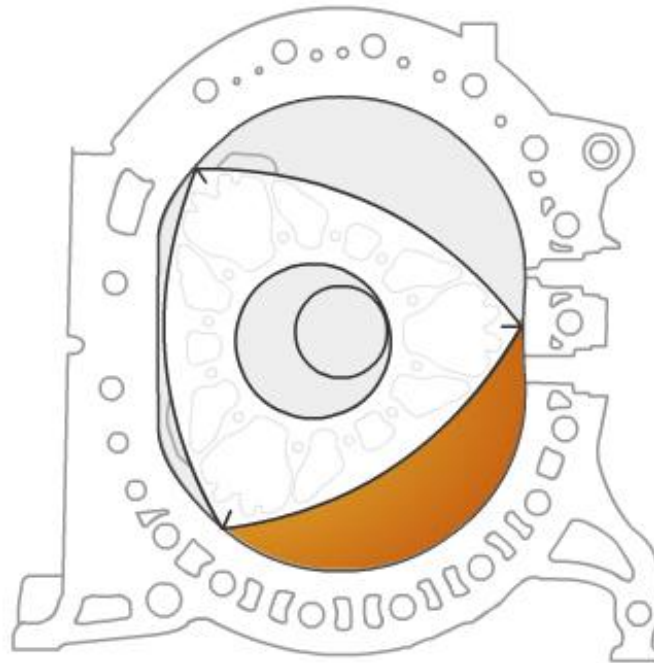
FUNCIONAMIENTO

El motor de pistón rotativo tiene un cambio de gases cerrado y, en su forma de trabajar, corresponde a un motor de 4 tiempos.



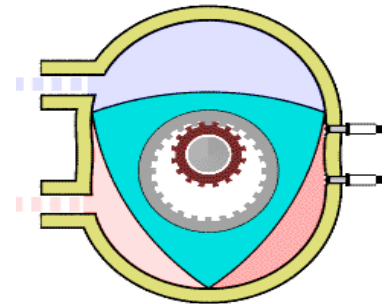
FUNCIONAMIENTO

Para la lubricación del pistón y de los elementos de estancamiento, por medio de una bomba dosificadora de aceite se lleva el aceite lubricante (aceite limpio, no usado) al lado de la aspiración de la bomba de combustible. Como la bomba dosificadora es accionada en función del número de revoluciones y de la carga, el consumo de aceite es relativamente bajo.



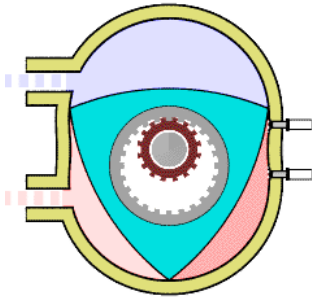
VENTAJAS DEL MOTOR DE PISTÓN ROTATIVO

- Posee solamente dos partes giratorias principales (pistón y árbol de excéntrica).
 - Su marcha es uniforme, al no tener movimiento alternativo.
 - Menor número de piezas, por tanto bajo peso por unidad de potencia.
 - Son de tamaño y peso menor $1/3$ del alternativo (similar cilindrada).
 - Secciones de paso de los gases sin estrangulamientos.
 - Insensibilidad al combustible (resistencia al pistoneo).
- Además,
- No posee elementos de distribución.
 - Eleva con facilidad las revoluciones, (altas rpm).
 - Son de mayor potencia (similar alternativo).



DESVENTAJAS DEL MOTOR DE PISTÓN ROTATIVO

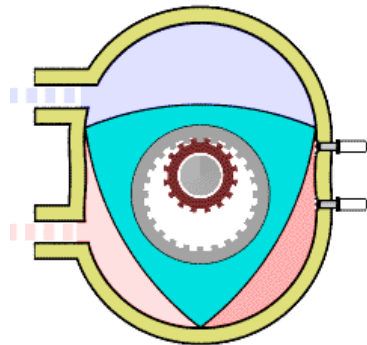
- Consumo elevado de combustible (400 - 500 gr. / CV h).
- No posee buena hermeticidad, fugas en los sellos (frontal y lateral).
- Consumo elevado de aceite, por fugas en los sellos.
- Un lado del motor trabaja demasiado caliente.
- Sistema de refrigeración más efectivo (bomba, radiador grandes).
- Materiales internos de mayor calidad (mayor coste).
- Presenta dificultad cuando se quiere determinar la presión (medir-compresión).



EL MOTOR DE PISTÓN ROTATIVO

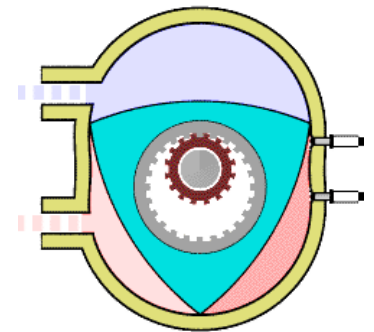
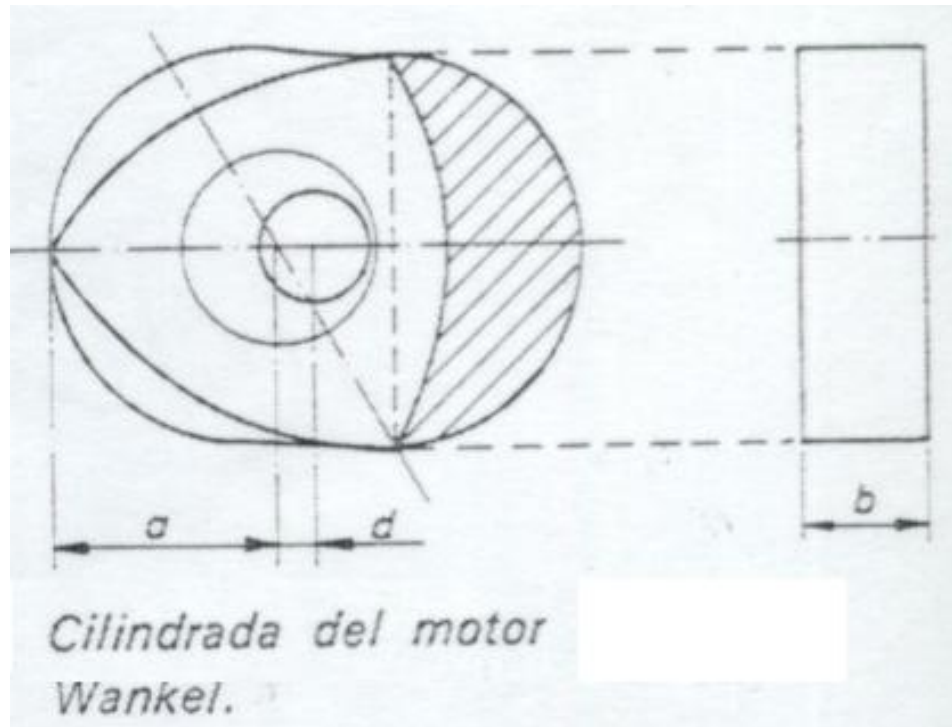
COMPARACIÓN ENTRE ELEMENTOS PRINCIPALES

Wankel	Alternativo
Rotor (3 lados)	Pistón
Eje de rotor ó árbol de excéntrica	Eje cigüeñal
Epitrocoide ó camisa	Cilindro



CALCULO DEL VOLUMEN UNITARIO

$$Vu = 3\sqrt{3} * d * a * b = cm^3$$



Vu = Cilindrada unitaria
 a = Distancia del eje rotórico al vértice
 b = Ancho del Pistón ó rotor.
 d = Distancia entre ejes

RELACIÓN DE COMPRESIÓN

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

