

Resumen de Motores a Combustión Interna

EL CHISPERO

Índice

I Introducción	3
1. Que son estas cosas?	3
2. Motores Otto	3
2.1. Etapas del ciclo	3
2.1.1. Diagrama Polar	4
2.2. Relación de compresión	4
3. Motor Diesel	4
4. Comparación entre MEP y MEC	6
4.1. Ventajas e inconvenientes del Diesel respecto al Otto.	6
5. Potencia y rendimiento	6
5.1. Potencias	6
5.2. Rendimientos	7
5.3. Como mejorar rendimiento volumétrico	7
6. Parámetros característicos	8
7. Disposición de cilindros	9
II Dispositivos de motor	9
8. Resumen de dispositivos	9
8.1. Block de motor y otros elementos que lo acompañan	9
8.2. Otros componentes del motor	10
9. Cámaras de combustión	10
10. Sistema distribución	11
10.1. Disposición de árbol de levas	11
10.2. Sincronismo de la distribución	11
10.3. Conjunto válvula	11
10.4. Levas	12
11. Conjunto pistón	12
11.1. Émbolo (pistón)	12
11.2. Aros o segmentos de pistón	13
11.3. Camisa	13
11.3.1. Fuerzas en el pistón	13
12. La detonación	13

13. Dosificación Aire–Combustible	14
13.1. Sistemas de inyección	14
13.2. Sonda Lambda	16
13.3. Control de mezcla	16
13.4. Válvula EGR	17
13.5. Actuadores	17
13.6. Diesel bomba EDC	17
13.7. Common Rail	17
13.8. Combustible	18
14. Lubricantes	18
14.1. Parámetros característicos de un lubricante.	19
14.2. Sistema de lubricación del motor endotérmico	19

Primer Parcial

Parte I

Introducción

1. Que son estas cosas?

Un motor térmico es cualquier dispositivo que puede quemar una mezcla de aire y combustible en una cámara de combustión (interna o externa) y convertir dicha energía térmica en energía mecánica.

- **Motores a combustión interna o endotérmicos:** El cambio térmico se genera en el mismo fluido de trabajo en el interior del motor.
- **Motores de combustión externa o exotérmicos:** Al fluido de trabajo se le transmite el estado térmico a través de una pared (como una turbina).
 - Fueron usados extensivamente durante la revolución industrial.
 - Rendimiento bajo y alta contaminación.

Tipo de motor endotérmico (MCI):

- **MEP:** Motores de encendido provocado.
- **MEC:** Motores de encendido por compresión.

El funcionamiento de un motor MCI se rige por el movimiento de su cigüeñal. Este marca el ritmo al cual empiezan y terminan los ciclos dentro del pistón. Es importante saber que en cada ciclo de combustión son 2 vueltas del cigüeñal para un motor de 4 tiempos (el más común).

Motores ciclo Otto son encendidos a chispa mientras que los motores a ciclo Diesel se encienden por compresión. La diferencia principal entre estos motores es que el calor aportado en el Otto idealizado ocurre a volumen constante (en un instante) mientras que en el Diesel el calor es aportado a presión constante.

Potencia en motores. Si quiero más potencia en un **Otto** entrego más *aire y combustible*. Si quiero hacer lo mismo en un **Diesel** entrego más *combustible*. La eficiencia térmica en motores está dada por:

$$\eta_t = \frac{W_{\text{útil}}}{Q_{\text{entregado}}} = \frac{Q_{\text{entregado}} - Q_{\text{perdido}}}{Q_{\text{entregado}}} = 1 - \frac{Q_{\text{perd}}}{Q_{\text{entr}}}$$

Para un Otto esto vale:

$$\eta_{t\text{Otto}} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

2. Motores Otto

El combustible nafta o gasolina.

- Mezcla pobre es preferible por razones de contaminación
- Mezcla estequiométrica: *Aire a gasolina* **14,7:1** (masa)
 - Reducir esta relación (mezcla más rica) aumenta contaminación y crea humo negro (material particulado) y otros problemas
- Densidad **0,71-0,76 kg/lit** con un poder calorífico de $c_{\text{nafta}} \cong 44.000 \text{ kJ/kg}$

Características del motor Otto. El ciclo se mide en angulo transversado del cigüeñal. Un ciclo, tanto para motor Otto como Diesel, tiene 720° .

- Encendido logrado con un arco eléctrico con bujías
- Inyector de combustible puede estar dentro de la conjunto pistón (inyección directa) o en el trayecto de admisión (inyección indirecta). Diesel solo adentro de la cámara.
- Mayor contenido de CO monoxido de carbono en los gases de escape comparado al Diesel.
- Los motores Otto de la actualidad regulan la potencia controlando la relación Aire/Combustible mediante una mariposa de aceleración (control aire) y inyectores electrónicos (control combustible)
- Presiones menores a las del Diesel en general
- Rendimiento térmico superior al Diesel Mixto pero menor que el Diesel.
- Comparado a Diesel grado de compresión bajo. $R_c = 8-11$ con presión $p_{\text{compresión}} = 13-15 \text{ bar}$ y $p_{\text{máx}} = 30-40 \text{ bar}$.

2.1. Etapas del ciclo

- **Admisión**

- El pistón desciende desde el **Punto Muerto Superior** (PMS) al **Punto Muerto Inferior** (PMI). Válvula de admisión abierta y la de escape cerrada

■ Compresión

- Se cierra la válvula de admisión y sube el pistón al PMS con ambas válvulas cerradas. $p_f = 10 - 15 \text{ bar}$

■ Expansión

- Se produce la chispa y por ende la combustión antes del PMS. Durante la expansión el pistón desciende del PMS al PMI produciéndose el trabajo útil

■ Escape

- El pistón sube del PMI al PMS con la válvula de escape abierta extrayéndose los gases de combustión
- El ciclo se vuelve a repetir en estos 4 pasos

Ciclo ideal. En el ciclo ideal cada etapa es de 180° del cigüeñal. Todas sumadas dan 720° .

Ciclo real. El ciclo real **todas** las etapas son más largas que sus contrapartes ideales a causa del avance y retraso de cierre de las válvulas de escape y admisión. La suma de todas las etapas *reales* da más de 720° .¹

- **AAA:** Avance a la apertura de la válvula de admisión
- **AAE:** Avance a la apertura de la válvula de escape
 - La válvula de escape se abre antes del PMI para aprovechar presión remanente de la combustión y así vaciar el cilindro de gases de combustión
- **RCE:** Retraso al cierre de la válvula de escape
- **RCA:** Retraso al cierre de la válvula de admisión
- **AE:** Avance de encendido
 - Varía entre $5^\circ - 40^\circ$

- **CV=AAA+RCE:** Cruce de válvulas

¹Se suele decir que el **ciclo** tiene más de 720° , aunque es un concepto erróneo ya que un **ciclo** por definición comienza y termina en el mismo lugar.

2.1.1. Diagrama Polar

Estudiar esto

2.2. Relación de compresión

Se tiene el volumen unitario V_u , definido como el volumen que “barre” el pistón en su recorrido. El volumen de cámara de combustión es el volumen *mínimo* alcanzado durante la combustión. V es el volumen total o cilindrada, equivalente al volumen unitario multiplicado por cantidad de cilindros:

$$V = V_u \cdot N$$

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

R_c es la relación de compresión del motor la cual define varias eficiencias.

Si se considera el gas de la cámara como ideal se puede definir el **rendimiento térmico del Otto** como

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{k-1}} = 1 - \left(\frac{V_{\min}}{V_{\max}} \right)^{k-1}$$

donde $k = \frac{c_p}{c_v} \approx 1,33$ para Otto.

Cruce de válvulas. Se produce con la apertura simultánea de las válvulas de admisión y escape al fin de la etapa del escape. Esto permite que aún con el pistón detenido en el PMS los gases circulen gracias a su inercia, trayendo aire fresco. La apertura de la válvula de escape también ayuda a reducir la presión en el cilindro favoreciendo la entrada de aire por la admisión. Esto refrigera el cilindro y aumenta la concentración de aire para el próximo ciclo.

A medida que aumenta el número de vueltas (la velocidad [rpm del cigüeñal]) el tiempo de intercambio de gases se reduce. Por lo tanto se necesita aumentar el cruce de válvulas. Cuanto más rápido el motor \Rightarrow Mayor cruce de válvula. Para motores Otto $CV = 0 - 35^\circ$. Los motores grandes tienen un cruce de válvulas reducido.

3. Motor Diesel

El combustible Diesel o gasóleo.

- Siempre funciona a exceso de aire, es decir, los motores Diesel regulan la potencia mediante el control del combustible inyectado (no hay mariposa!)

- Mezcla estequiométrica: *Aire a gasóleo 14,5:1* (masa)
 - Reducir esta relación (mezcla más rica) aumenta contaminación y crea humo negro (material particulado) y otros problemas
- Densidad **0,81-0,85 kg/Lt a 15°C** con un poder calorífico de $c_{\text{Diesel}} \cong 42.000 \text{ kJ/kg}$
- Viscosidad aumenta violentamente con descenso de temperatura. Se necesita un precalentador para $T \lesssim -25^\circ$
- Combustible tiene un **retraso de ignición o encendido** entre inyección y comienzo del frente de llama
- Presión de combustión entre 70-90 bar y se requiere una temperatura elevada $T_{\text{c}} 500^\circ$.

Como bien se menciona anteriormente, la potencia es otorgada por un aumento de combustible, *no hay cambio de cantidad de aire en la cámara*. Al acelerar se aumenta la cantidad de combustible y aumenta la potencia erogada por el motor.

Método de inyección. Dos métodos principales para motores Diesel:

- Motores de inyección directa (a la cámara de combustión)
 - Mejor rendimiento térmico y específico
 - Requiere biela y cigüeñal robustos
 - 99,9 % motores de este tipo
- Motores de inyección "indirecta" lo hacen en una precámara de inyección
 - Vibraciones mas suaves, mejor para autos pequeños
 - Contamina más

Características de la preinyección en el Diesel.

Para motores chicos se efectúa una o multiples pre-inyecciones que con el tiempo llegan a homogenizarse en la cámara completamente y luego se enciende *antes* de la inyección principal. Con esto se logra que la inyección principal caiga sobre un frente de llama, acelerando el proceso de combustión. Dicho esto, el retraso de tiempo de ignición se achica considerablemente.

Características del motor Diesel.

- No existe mariposa de aceleración
- Exceso de aire es deseable

- Aumento de temperatura de aire del ambiente afecta rendimiento negativamente²
- Bujías de *precalentamiento*. Favorece arranque en frío
- Presiones mayores que en Otto. Componentes (biela, perno de pistón cigüeñal) reforzados
- Motores Diesel modernos en el rango de $R_c \approx 21$ y presión máxima alcanzada durante la combustión $p_{\text{máx}} \approx 190 \text{ bar}$, presión media efectiva $p_{\text{me}} \approx 25 \text{ bar}$ y presión de inyección (Common rail 3rd gen) $p_{\text{iny}} = 2000-3000 \text{ bar}$
- **Diesel Lento:** Funcionamiento duro y ruidoso con alto tiempo de retraso. Inyectores de multiples orificios. Usados en camiones, locomotoras, barcos y generadores. Cilindradas mayor a 3300 cm^3
- **Diesel Rápido:** Superan los 4500 rpm. Común usar camaras combustión integradas al pistón. Preinyecciones (3-10 % de inyección total) antes de inyección principal (ayudan que sea mas suave el funcionamiento). Cilindradas menores a 3500 cm^3

Ciclo Diesel.

El rendimiento térmico en un ciclo Diesel **ideal** está dado por

$$\eta_t = \frac{W_{\text{útil}}}{Q_{\text{entr.}}} = 1 - \frac{1}{R_c^{k-1}} \left(\frac{R_v^k - 1}{k(R_v - 1)} \right)$$

donde $k = \frac{c_p}{c_v} \approx 1,4$ para Diesel, R_v es la relación de cut-off $\frac{V_4}{V_3}$ (relación de volúmenes al comienzo y al final de la etapa de combustión).

Para un ciclo Diesel mixto o **ciclo Sabathé**

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_4 - T_3)}$$

puede resultar útil también tener en cuenta la otra expresión

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{k-1}} \cdot \frac{R_p(R_v)^k - 1}{(R_p - 1) + kR_p(R_v - 1)}$$

donde $R_p = \frac{p_3}{p_2}$ es la relación de presiones en la parte a volumen constante (etapa semejante al ciclo Otto) y $R_v = \frac{V_5}{V_4}$.

²A mayor temperatura, menor densidad de aire \Rightarrow menor masa de aire en cámara.

Combustión en el ciclo Diesel. El combustible es inyectado antes del PMS (**AI**:Avance de inyección. **Reemplaza el concepto de AE en el Otto**). Esto le da tiempo para mezclarse al combustible. Es deseable alta temperatura, gran turbulencia pulverización fina, buena cantidad de oxígeno para favorecer la combustión. Los últimos dos puntos favorecen la combustión completa, reduciendo PM (material particulado \equiv contaminación) y aumentando la eficiencia. Cuidarse que a muy alta temperatura se forman óxidos de nitrógeno muy contaminantes!

Se puede reducir el **retraso de encendido** usando un combustible de número de cetano adecuado, alta turbulencia en la cámara, regulando caudal de inyección inicial y con preinyecciones antes de la inyección principal.

Avance de inyección:

- Compensa la propiedad intrínseca retraso de encendido del combustible Diesel
- Se desea que el pistón se encuentre en el PMS al final de la combustión
- Hoy en día se regula electrónicamente el avance de encendido dependiendo de variables de trabajo del motor

Sobrealimentación (turbo-compresor) en Diesel.

Como el factor limitante a la potencia es el aire, se ideó un sistema que aumente la alimentación de aire a la cámara usando la energía cinética de los gases de escape. Funciona alrededor de 80-120 mil rpm.

- Mejora rendimiento notablemente
- Aumentar rendimiento químico (se oxida un mayor porcentaje del combustible)
- Diesel lentos de cilindrada V_u grande
 - Mejora en intercambio de gases
 - Proporciona el aire suficiente en altas cargas
- Diesel rápidos con cilindradas chicas
 - Interesa obtener una buena relación peso/potencia
 - Se logra buen consumo y rendimiento
- Se tiene que controlar la velocidad. Si aumenta la realimentación \Rightarrow aumenta energía de gases de escape \Rightarrow círculo vicioso. A esto se lo llama *embalamiento*. Para prevenir esto existe la válvula de alivio que hace un cortocircuito entre trayecto de admisión y el escape.

4. Comparación entre MEP y MEC

4.1. Ventajas e inconvenientes del Diesel respecto al Otto.

- Ventajas
 - Mayor η_t por temp. mayores
 - Menor consumo
 - Menor monóxido de carbono y hidrocarburos no quemados
- Inconvenientes
 - Mayor contaminación con óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre
 - A igual cilindrada son más robustos y por lo tanto más caros
 - Mayor dificultad en arranque en frío
 - Funcionamiento brusco

Ver pg. 16 del Giacosa.

5. Potencia y rendimiento

Los factores que determinan el rendimiento del motor:

- **Grado de compresión.** $R_c \uparrow, \eta \uparrow$. Limitado por detonación
- **Desarrollo de combustión.** Mezcla homogénea, frente de llama uniforme
- Relación A/C (aire-combustible)

5.1. Potencias

La potencia ideal P_{ideal} se obtiene del ciclo teórico y va relacionada con la presión media efectiva

$W_{ideal} = p_{me} V_u$. El rendimiento térmico es calculado para los ciclos ideales de tal forma que

$$P_{ideal} = \eta_t \cdot F_P = \eta_t \cdot \dot{m}_c c$$

también vale para motores de 4 tiempos:

$$P_{ideal} = \frac{NV_u p_{me}}{2} \cdot \frac{n}{60} \text{ donde } c \text{ es el poder calorífico del combustible.}$$

Potencia indicada es la potencia desarrollada en el interior del cilindro. Se obtiene a partir del ciclo real, siendo esta el área encerrada por la línea que recorre el ciclo en el gráfico p-V. La potencia indicada toma en cuenta el *trabajo de bombeo*, $k = \frac{c_p}{c_v}$ no

constante, las pérdidas de calor al refrigerante entre varias otras cosas.

$$P_i = P_{\text{perd.}} + P$$

donde $P_{\text{perd.}}$ es la potencia asociada con las pérdidas mecánicas y P es la potencia efectiva, o la potencia útil.

Se define una nueva presión media, llamada la *presión media indicada* p_{mi} . En un motor de **4 tiempos** que el ciclo se completa en 2 revoluciones:

$$P_i = \frac{NV_u \cdot p_{mi}}{2} \cdot \frac{n}{60}$$

donde N es el número de cilindros y n son las revoluciones en rpm.

Potencia efectiva o útil. También conocida como la potencia al freno porque se mide aplicando un dispositivo al eje del motor frenándolo y midiendo el par que genera a una velocidad n .

$$P = T \cdot \omega = T \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} = P_i - P_{\text{perd.}}$$

donde T es el par y ω es la velocidad en radianes por segundo. Resultado en [W].

5.2. Rendimientos

Rendimiento térmico. Definido de otra manera

$$\eta_t = \frac{P_{\text{ideal}}}{\dot{m}_c c} = \frac{P_{\text{ideal}}}{F_P}$$

donde \dot{m}_c es caudal másico de combustible quemado y c es el poder calorífico del combustible. $F_P = c\dot{m}_c$ es el *fuel power*. El limitante al rendimiento térmico son las temperaturas. Si se supera cierto valor hay riesgo de autoignición de la mezcla.

Otto: $\eta_t = 35-40\%$

Diesel: $\eta_t = 40-50\%$

Rendimiento indicado. Es la relación entre el trabajo del ciclo indicado y el trabajo del ciclo ideal.

$$\eta_i = \frac{P_i}{P_{\text{ideal}}}$$

donde $P_i = P + P_{\text{pérdidas}}$.

Rendimiento mecánico. Relación entre la potencia efectiva que se obtiene en el eje del motor y la potencia indicada que se obtiene en el diagrama de trabajo real del motor en el cual no intervienen las pérdidas mecánicas.

- Hay pérdidas debido al rozamiento entre aros del pistón, camisa y pérdidas a la fricción del lubricante entre otras.

- Energía consumida en dispositivos auxiliares como bombas

$$\eta_m = \frac{P}{P_i}$$

en general ronda $\eta_m = 85-90\%$.

Rendimiento efectivo (o total). La relación entre las pérdidas totales del motor y la energía contenida en el combustible consumido definen el rendimiento efectivo del motor.

Otto: $\eta_{\text{total}} = 25-30\%$

Diesel: $\eta_{\text{total}} = 30-40\%$

$$\eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{ideal}}}{F_P} \cdot \frac{P_i}{P_{\text{ideal}}} \cdot \frac{P}{P_i} = \eta_t \cdot \eta_i \cdot \eta_m = \frac{P}{F_P}$$

Rendimiento volumétrico. Se puede definir como el grado de eficiencia con el que se introduce la carga fresca al cilindro o grado de llenado. *Es la relación entre la masa de aire introducida al cilindro y la masa de aire teórica necesaria para llenar el cilindro calculada en base a las dimensiones del cilindro y condiciones atmosféricas (p, T).*

$$\eta_v = \frac{M_{\text{aire}}}{M_{\text{aire ideal}}}$$

Dicho rendimiento depende del régimen de giro, condiciones ambientales, sección de válvulas (agregar válvulas mejora el rendimiento), pérdidas en la admisión y la eficacia de barrido de gases.

5.3. Como mejorar η_v

- Se pueden reducir las pérdidas en el conducto de admisión
- Agregar un turbocompresor
- Ajustar el cruce de válvulas para el régimen de funcionamiento (n)
- Bajar la temperatura a la cual ingresa el aire en la admisión
- Aumentar válvulas por cilindro. Es preferible 2 válvulas de admisión ante 1 debido a la inercia del aire
- η_v es mínima en ralentí y al máximo número de vueltas.

6. Parámetros característicos

Presión media efectiva. La presión durante la combustión no es constante pero resulta útil obtener un parámetro representativo de ella. La p_{me} resulta de hallar la presión media durante el tiempo de combustión y expansión.

$$p_{me} \approx \frac{W_{comb-exp}}{V_u}$$

esta presión caracteriza el par desarrollado del motor. Depende principalmente del grado de llenado de los cilindros, la eficacia de la combustión y el régimen del motor (mayor en $n_{\eta_V máx}$).

Potencia motor o potencia al freno.

$$P = T\omega = T \cdot 2\pi f = T \frac{2\pi n}{60}$$

donde n son las revoluciones [rpm], y T es el torque o par [Nm]. Resultado en [W]. Lo que determina la potencia esta dado en gran parte por la cilindrada V_u , η_V , R_c y n .

$$1 \text{ HP} \approx 745,7 \text{ W}$$

Esta potencia también se conoce como potencia al freno o *brake power* porque se obtiene en un ensayo donde se calcula la potencia frenando el motor y midiendo las vueltas y el par.

Factores que determinan la potencia de un motor.

- Cilindrada
- Grado de llenado de cilindros (η_V)
- Relación de compresión
- Régimen de giro

Consumo específico de combustible. C_e expresa relación entre masa combustible consumida y potencia. Depende principalmente de η_t y η_V . Por lo general el mínimo C_e se obtiene en la zona de par máximo (o cercanía), que coincide con el máximo η_V y máximo p_{me} . C_e esta en función de η_V que a la vez esta en función de las rpm, por ende C_e depende de las rpm.

$$C_e = \frac{\dot{m}_c}{P}$$

Para Otto varía entre 280-320 g/kWh y para Diesel 180-280 g/kWh (mejor).

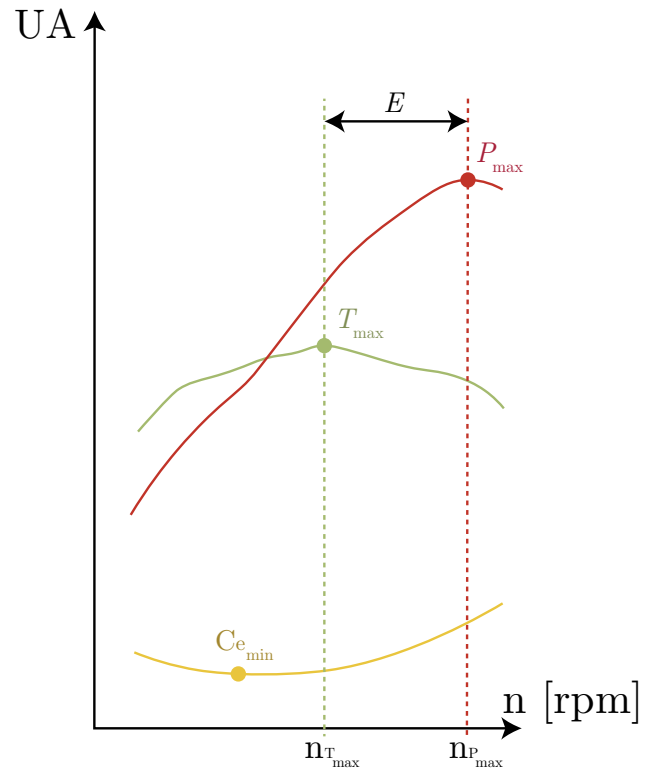


Figura 1: Curvas características de un motor

Elasticidad de motor. El campo de elasticidad E se define como la diferencia de velocidad a alto régimen y a bajo/medio régimen. Un motor más elástico es mas “cómodo” de manejar debido a que hay que rebajar menos cantidad de veces al cambiar de revoluciones que con un motor menos elástico.

$$E = n_{P_{máx}} - n_{T_{máx}}$$

si se va comparar el motor con un motor de otro rubro se puede efectuar una ponderación

$$E_{pond} = \frac{E}{n_{máx}}$$

El coeficiente de elasticidad está dado por

$$E_c = E_n \cdot E_p = \frac{n_{P_{máx}}}{n_{T_{máx}}} \cdot \frac{T_{máx}}{P_{máx}}$$

donde E_n es la elasticidad de régimen y E_p es la elasticidad de par. T es el par (en N.m).

Consideraciones del ensayo. Al realizar los ensayos para obtener los parámetros anteriores es muy importante tomar en cuenta las condiciones atmosféricas ya que η_V depende de estas y por lo tanto también la potencia. Se tiene que tomar en cuenta p_{amb} , T_{amb} y en algunos casos humedad relativa ϕ_{amb} .

7. Disposición de cilindros

Para motores de 4 tiempos (720° el ciclo completo) de N cilindros se calcula el ángulo por impulso:

$$\gamma_{\text{imp}} = \frac{720^\circ}{N}.$$

Se comienzan a numerar los cilindros desde el lado opuesto de la salida de la transmisión y comenzando en la esquina inferior izquierda (mirando el motor de arriba con la transmisión saliendo para arriba).

Si se tiene un número impar de pistones se tiene que usar un eje contrarrotante para contrarrestar las fuerzas no balanceadas que aparecen. Cada eje contrarrotante ejerce mitad de la fuerza de la biela, por ende se necesitan dos ejes contrarrotantes. (?)

Parte II

Dispositivos de motor

8. Resumen de dispositivos

8.1. Block de motor y otros elementos que lo acompañan

■ Block de motor

- Alberga cilindros/camisas
- Fabricado de hierro (resistencia mecánica) o aleación ligera Al-Si (conductividad térmica, más ligero)
- Puede tener sistema de refrigeración para refrigerar las camisas a base de líquido (más usado en actualidad) o aire
- Constituye la estructura básica que soporta todos los componentes y demás elementos del motor
- Debe ser rígido para permitir esfuerzos sin deformaciones, permitir canalizaciones de aceite/líquido refrigerante, parte superior totalmente plana para sellado contra culata

■ Tapa de cilindros o Culata

- Cierra la parte superior de los cilindros. La superficie de asentamiento está rectificadas para garantizar estanqueidad
- Hechos de aluminio en la actualidad. Excelente conductividad térmica, buenas propiedades mecánicas y poco peso aunque es propensa a deformaciones. El hierro resiste deformaciones pero es más pesado.

- Lleva orificios de refrigeración y conforma la parte superior de la cámara de combustión. Se puede refrigerar internamente por líquido (más común) o por aire mediante aletas.
- Contiene el árbol de levas, bujías, inyectores, balancines y válvulas

■ Junta de culata

- Encargada de que la unión entre bloque y tapa sea estanca
- Pueden ser de dos tipos, multilaminares/multimetálicas o convencionales de fibra
- Para motores Diesel se necesita determinar la saliente sobre el bloque del pistón para elegir una junta
- Debe evitar fugas de compresión/líquido refrigerante/lubricante a altas temperaturas
- Juntas multilaminares o multimetálicas son las más usadas y tienen entre 1 y 3 muescas que indican el saliente del pistón para motores Diesel

■ Bancadas o asientos de cigüeñal

- Donde apoyan los bujes de fricción que a su vez son el apoyo del cigüeñal del motor
- Están recubiertos con un material más suave que el interior para atrapar metal o partículas disueltas en el lubricante

■ Semicárter

■ Colectores de admisión

- Objetivo es conducir el gas de admisión hacia los cilindros. Motores Otto de inyección indirecta tienen los inyectores montados dentro y existen diferentes tipos para este último como *monopunto*, *multipunto*.
- Su forma tiene gran influencia en el η_v . Conduce gases del múltiple de admisión hacia la válvula de admisión
- Pueden montarse en este tipo de conductos sistemas de admisión variable para adaptar las longitudes de los conductos a cada situación de funcionamiento de motor en cada caso.
- Generalmente fabricados de aleación de aluminio

■ Colector de escape

- Conduce gases de escape hacia el silenciador de escape. Se suele hacer de fundición de hierro/acero inox. para soportar los grandes cambios de temperatura
- Diseñado de tal forma para que las ondas de presión de cada cilindro no interfieran entre sí
- Junta de unión con la culata soporta grandes temperaturas

■ Sistema de escape

- Objetivo de conducir los gases a la atmósfera reduciendo su ruido y la contaminación mediante **silenciadores** y **catalizadores**, respectivamente.

8.2. Otros componentes del motor

■ Cigüeñal

■ Sistema de distribución

- Comprende todos los elementos necesarios para coordinar la apertura y cierre de válvulas con el giro del motor
- El cigüeñal arrastra el **árbol de levas** que a su vez controla las **válvulas** que actúan a través de la **guía de válvulas**
- Resortes o muelles de válvulas
- Taques y balancines

■ Volante de inercia

- Está engranado porque está acoplado al piñón del burro de arranque que pone el motor en marcha
- Suaviza el andar del motor

■ Conjunto Pistón

- Camisa
- Perno o bulón de pistón
- Biela
- Émbolo
- Cámara
- Bujes de biela
- Aros de pistón

9. Cámaras de combustión

La cámara es conformada por la culata y el émbolo del pistón cuando este se encuentra en el PMS.

Tiene influencia en η_t .

Tipo de cámara para motor Otto.

- **Cámara semiesférica.** La ideal. Diseño condicionado por la posición de las válvulas, difícil lograrlo
- **Cámara hemisférica.** De característica parecida a la semiesférica. Válvulas posicionadas entre 20-60°
- **Cámara tipo cuña.** Diseño mas antiguo con buena resistencia a la detonación y poca superficie interior. Las valvulas quedan en paralelo, simplificando el diseño
- **Cámara de bañera.** De muy bajo rendimiento
- **Cámara en el pistón.** Se tiene una culata de superficie interior *plana* por lo que el mismo hueco en el émbolo actúa de cámara. Muy buena homogeneización de la mezcla debido a la alta turbulencia adquirida por el fluido
- **Cámara de inyección directa.** El émbolo del pistón posee deflectores que se concentre la mezcla rica en la cercanía a la bujía y pobre en su periferia. Es más cara pero se obtiene mayor rendimiento de la combustión

Tipo de cámara para motor Diesel. La superficie de la culata con las válvulas suele ser plana, esto significa que el volumen está 100 % contenido en cámara de la cabeza del pistón o, en su defecto, una precámara. El embolo tiene una forma para favorecer la combustión.

- **Cámara de combustión directa.** La inyección se realiza directamente sobre el émbolo del pistón. Se usan inyectores de varios orificios. Bajo consumo específico. La superficie del émbolo tiene forma cónica.
- **Precámara o Cámara de combustión auxiliar.** Objetivo de provocar una gran turbulencia en el paso de la cámara auxiliar a la principal. Funcionamiento mas suave. Inyectores de un solo orificio. Se suele tener una bujía de precalentamiento para favorecer el arranque en frío. Tiene un funcionamiento suave. Hay dos tipos:
 - Precámara de precombustión
 - Precámara de turbulencia

10. Sistema distribución

El **sistema de distribución** comprende todos los elementos necesarios para coordinar la apertura y cierre de válvulas con el giro del motor.

Se necesita que la relación de velocidades entre el árbol de levas y el cigüeñal sea de $\frac{n_{\text{cig}}}{n_{\text{arbLev}}} = 2$. El árbol de leva hoy en día se suele accionar por una correa.

10.1. Disposición de árbol de levas

Existen dos disposiciones usadas para el árbol de levas, **DOHC** (double overhead valve camshaft) y **OHC** (overhead camshaft). El sistema OHV (overhead valve) es abandonado en la actualidad por sus desventajas ante las dilataciones e inercia másica. Consistía en un árbol de levas en cercanía del cigüeñal que impulsaba una varilla hasta el balancín sobre la culata que accionaba la válvula. Sistema OHC tiene solo un árbol de levas montado en la culata. Accionamiento más directo sobre la válvula y menos problemas de dilatación. DOHC tiene dos árboles, permitiendo así un ángulo entre las levas. Las válvulas pueden ser accionadas directamente por la leva o a través de balancines. Hay configuraciones de balancines para permitir ángulo entre las válvulas con un solo árbol (OHC).

10.2. Sincronismo de la distribución

Se puede accionar y coordinar el árbol de levas con ruedas dentadas (usadas solo en motores industriales en la actualidad)³, cadena de rodillos, o correa dentada. Cualquiera sea el sistema usado existen las llamadas “marcas de puesta a punto”, que nos permiten hacer el montaje correcto de la distribución luego del desarme de motor.

El accionamiento por **cadenas de rodillo** sirve para accionar el árbol a distancia pero, a pesar de ser robusto, con el tiempo se desgasta y se alarga produciendo desfase en la distribución. Se usan tensores de cadenas para mejorar el agarre.

El accionamiento por **correas dentadas** es el más utilizado para motores medianos/pequeños. Se fabrica con fibras de alta resistencia y hilos intercalados de acero recubiertos con neoprene o caucho sintético. Existen tensores de correa también. Pueden ser de perfil redondo o trapezoidal y tienen varias ventajas sobre los demás accionamientos

- No necesitan lubricación

³Dientes helicoidales para disminuir ruido.

- Silencioso
- Relativamente más económico

aunque si necesitan ser intercambiadas más seguido.

10.3. Conjunto válvula

Partes de una válvula: Entalladuras (donde la sos tiene el resorte), Vástago, cabeza y el asiento cónico que apoya sobre el asiento de válvula de la culata. Pueden ir montadas *en línea* (un solo árbol de levas) o *en doble línea* (permite mejor intercambio de gases) con un ángulo de montaje de 20-60°. La válvula de admisión puede llegar a los 300° y la de escape a unos calurosos 800°.

Tipos de válvulas:

- Válvulas **monometálicas**
 - Fabricadas de una pieza en bruto por moldeo por presión sin arranque de viruta
 - Se somete la pinta del vástago a tratamiento posterior para endurecer y proteger químicamente
- **Bimetálicas**. Dos materiales soldados por fricción. El vástago tiene baja fricción con la cabeza de material resistente a altas temperaturas
- Válvulas **refrigeradas con sodio**
 - Válvula hueca que almacena sodio en su interior para aumentar la transferencia de calor aprovechando el movimiento alternativo de la válvula y el bajo punto de fusión del sodio
 - Reduce hasta en 100°C la T_{cabeza}
 - Desechar responsablemente. Sodio es muy reactivo

La válvula de admisión suele tener un diámetro 20-30 % mayor. 1. Esto mejora la admisión de gases frescos que aumenta el η_v . 2. Además, durante el escape hay alta presión, lo que facilita su vaciado aun con poco diámetro. 3. También por una cuestión de transferencia de calor, es deseable que sea de menor tamaño la válvula de escape para facilitar su enfriamiento.

Diámetros de cabeza de válvula.

$d_{\text{admisión}} = b \cdot D$ con $b = 0,40-0,48$ donde D es el diámetro del cilindro/embolo.

Ángulo de conicidad de válvula (asiento de válvula). El más usado es 90° porque brinda mejor

resistencia mecánica que a 120°. 120° permite pasar mejor los gases.

Alzado de válvula L . Cuanto avanza la válvula para dejar los gases salir/entrar. $L/d = 0,25-0,30$. A mayor alzado menor resistencia al llenado y mayor η_v .

Guías de válvula. Es la pieza sobre la cual desliza el vástago de la válvula. Debe tener buenas propiedades anti-fricción y conductividad térmica adecuada. Debe permitir dilatación del vástago sin restringirlo y un retén de aceite en su parte superior para evitar fuga de aceite hacia la cámara de combustión.

Asientos de válvulas. Es la pieza sobre la cual apoya la válvula cuando cierra el cilindro. Suele ser de material diferente a la culata: Acero Cr-Mn o metal duro. Resistencia la impacto y alta temperatura y debe cumplir función de evacuar calor por conducción de la válvula cuando esta apoya. La mayor parte del calor de la válvula se evacua a través de esta pieza. Se enfría antes de montarla sobre la culata así se contrae y queda unida por interferencia.

Muelle de válvula. Parece ser un *resorte* pero es un *muelle*. Actúa sobre la válvula para efectuar el cierre sobre el asiento y para que vuelva desde su máxima apertura (siempre comprimido). Se suelen usar muelles asimétricos para minimizar los efectos de inercia y vibraciones que puedan aparecer con un número alto de vueltas.

10.4. Levas

Se requiere *alta* precisión para fabricar el perfil de una leva. Se requiere un tratamiento superficial para evitar desgaste. Importante que esté lubricado el árbol.

El ángulo del cigüeñal que la válvula permanece abierta está dada por

$\alpha_{abierto} = 180^\circ + RCA + AAA$. El ángulo en el giro de árbol de levas es la mitad: $\beta = \frac{\alpha}{2}$.

$$Dwell = \frac{\beta_{cierre}}{\beta_{cierre} + \beta_{abierto}} = \frac{\beta_{cierre}}{360^\circ}$$

- **Leva tangencial.** Movimiento rápido, picos de aceleración (por ende fuerzas inerciales mayores), permanencia mas grande. Desgaste infinito.⁴
- **Leva oval.** Velocidad nominal media, movimiento menor a la tangencial y permanencia menor.

Desgaste bajo. Todas las levas se diseñan para reducir la aceleración y el desgaste.

Elementos de empuje. Taqués, reguladores y varillas. Tienen gran superficie lo que disminuye el desgaste. Reparten esfuerzos laterales de mejor forma. Existen **taqués hidráulicos** que compensan dilataciones en el sistema de distribución (debido a cambio de temperaturas). Estos taqués hidráulicos son más pesados por lo que presentan problemas de inercia a altas revoluciones.

Elementos basculantes. Balancines y palancas. Un balancín tiene un punto de giro cercano a su centro. Estos deben estar regulados para que cuando se dilate el sistema de distribución haya un dado juego de válvula entre la leva en su dwell y el taqué. Se puede lograr esto con placas calibradas sobre el taqué o ajustando el tornillo de regulación del balancín.

11. Conjunto pistón

11.1. Émbolo (pistón)

El símbolo representativo del MCI, reconocido por abogados y antropólogos. Recibe la fuerza de la expansión de gases y lo transmite a la biela a través del perno del pistón. Debe mantener al máximo posible la estanqueidad de los gases y evitar que el lubricante pase a la cámara de combustión.

Transmite el exceso de calor a las paredes del cilindro y al lubricante.

El pistón es constituido por

- **La cabeza.** Parte superior del bulón. Su forma depende del tipo de motor. Puede tener una cámara mecanizada
- **Zona de aros o segmentos.** Contiene surcos donde se alojan los segmentos metalicos. Puede tener anillos de refuerzo para aguantar el golpe-teo del motor Diesel.
- **Alojamiento de perno o bulón.** Zona reforzada. En ocasiones se descentra del centro del pistón entre 0,5-2mm
- **Falda o vástago.** Es la parte inferior del pistón y su misión es guiar el desplazamiento del pistón en la camisa.

Los pistones pueden ser **fundidos**. Estos requieren mecanizado y tratamiento térmico posterior. Se templan para que resistan más al desgaste. Pistones

⁴Una leva de perfil tangencial sufre por fatiga (desgaste por *pitting*). Se necesita diseñar con un factor seguridad alto.

forjados para motores de alto rendimiento. Mayor durabilidad y resistencia.

Tipos de pistones.

- **Pistones con regulación.** Tienen incorporado un dispositivo (por ejemplo piezas suplementarias de acero) que influye en su capacidad de dilatación térmica. Se usan en motores Diesel y Otto y pueden adaptarse muy bien a condiciones térmicas muy cambiantes. Pueden ser pistones con faja o con tiras de acero o autotérmico.
- **Pistones con faja.** En el extremo superior de la falda, entre el aro inferior y el hueco de perno se intercala un aro de acero de 1,5 a 3mm de espesor promedio. Este evita el paso de calor hacia la falda del pistón lo que limita su dilatación.
- **Pistón con tiras.** Pueden tener o no hendiduras transversales entre la falda y la zona de aros. En ambos sistemas se empotran en el metal ligero, tiras de acero que da lugar a un efecto bimetalíco. La diferente dilatación de acero y aluminio, da lugar a una dilatación preferente en un solo sentido, que se compensa con el mecanizado. La dilatación térmica es predominante en el sentido del eje de los pernos.

11.2. Aros o segmentos de pistón

Permiten asegurar la estanqueidad de la cámara en el caso de los aros de compresión y de permitir evacuar hacia el cárter el aceite en exceso en el caso de los rascadores de aceite.

11.3. Camisa

Tipos de camisa

- Sin camisa. Se le dice **bloque integral** cuando el cilindro se elabora directamente en el mismo bloque de motor.
- **Camisa seca.** En contacto con el bloque de motor
- **Camisa húmeda.** En contacto con cámara de refrigeración del bloque de motor.

El émbolo del pistón está sujeto a fuerzas alternativas y consecuentemente apoya sobre la camisa (e el bloque integral).

Desgaste por ovalamiento. Se produce desgaste lateral por ovalamiento siendo mas importante en la parte que apoya el pistón cuando *desciende* por ser mayores las fuerzas del gas sobre el émbolo que las

fuerzas que se ejercen sobre el en el momento de ascenso.

Desgaste cónico. Se debe a que las fuerzas actuantes sobre el pistón son de mayor magnitud cerca del PMS que el PMI, lo que aumenta el desgaste en esa zona.

*Para minimizar dichos efectos se recurre al uso de **camisa descentrada o perno del pistón descentrado** respecto el cigüeñal.*

11.3.1. Fuerzas en el pistón

Por cada ciclo del motor el pistón debe acelerar y frenar 4 veces. Esté movimiento alternativo somete el conjunto pistón a grandes esfuerzos alternativos. El valor medio de la velocidad del pistón es:

$$u_m = \frac{nL}{30} = \frac{\omega L}{\pi}$$

donde L es la carrera del émbolo, n son las revoluciones del motor [rpm] y ω es la velocidad angular del motor [rad/s]. Resultado en [m/s]. Es deseable que se encuentre por debajo de 18-20 m/s. Nos importa la relación carrera a diámetro $\frac{L}{D}$.

- Carrera larga $\frac{L}{D} > 1$
- Cuadrado $\frac{L}{D} = 1$
- Supercuadrado $\frac{L}{D} < 1$

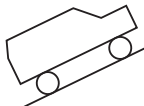
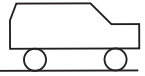
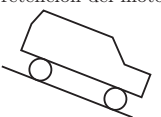
	Variables que controlan AE		Estado de Mariposa	AE
	Carga	RPM (cigüeñal)	Δp en el múltiple de admisión	
Subida 	Alta	Alta	Baja (MTA)	Bajo
Llano a velocidad crucero 	Intermedia	Intermedia	Intermedia (MPA)	Regular
Bajada con retención del motor 	Baja	Alta	Alta (MC)	Alto

Figura 2: Tabla de valores relevantes al AE.

12. La detonación

Se desea evitarla a todos costo. Sucede cuando una mezcla fresca explota antes que la alcance el frente

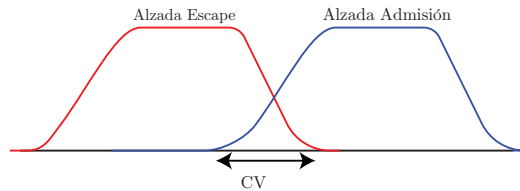


Figura 3: Diagrama de alzada para un MCI.

de llama de la mezcla encendida (ignición controlada). Se puede evitar la detonación mediante el avance de encendido. Cabe destacar que si la mezcla se enciende antes de la chispa deja de ser detonación y pasa a ser llamado *pre-ignición* o *autoencendido*. En este último proceso **no** participa la chispa del encendido. **Son dos procesos diferentes que ocurren en momentos distintos.**

Segundo Parcial

13. Dosificación Aire-Combustible

- Sistema de Carburador
- Sistema Inyección
 - Gestión Mecánica
 - Gestión Electrónica (Actualidad)
 - Directa
 - Indirecta

Carburador

Trabaja con mezcla levemente rica con el principio de Bernoulli. En ralentí la mariposa está cerrada por lo que el grado de depresión es muy bajo. Al carburador le cuesta tomar combustible y la pulverización es muy baja. Para suplir esto están los circuitos de ralentí.

- Dispositivo de cebado automático
- Bomba de aceleración

13.1. Sistemas de inyección

Se tienen tres subsistemas:

- Sensores: Traducen una magnitud física en pulsos digitales/diferencial de potencial/corriente. La medida física suele ser denominada como *variable de funcionamiento del motor*.

- ECU: Engine control unit. Computadora. Compara los datos de los sensores con su mapeo y en base a esto le da ordenes a los actuadores
- Actuadores. Elementos eléctricos y/o electrónicos que ejecutan órdenes.

Componentes básicos

- Sensores
 - Sensor de masa de aire. Mass Air Flow (MAF). Anemometro (hot wire sensor).
 - Sensor de depresión. Manifold Absolute Pressure (MAP).
 - Sensor de apertura de válvula aceleradora (mariposa)
 - Sensor de pedal
 - Sensor de detonación.
 - Por vibraciones
 - Por revoluciones. La detonación frena brevemente el pistón para luego acelerarlo.
 - Sensor de temperatura de aire.
 - Sensor de RPM
 - Efecto Hall. La interacción de la corriente en un entorno conductivo con un campo magnético externo hace aparecer un diferencial de potencial.
 - Inductivo. Bobina, imán y rueda dentada. El eje de la bobina se alinea con la rueda dentada y se altera el campo magnético creando así una señal de corriente alterna (CA).
 - Sensor de fase
 - Throttle position sensor
 - Sonda Lambda (sensor de oxígeno)
- Actuadores
 - Válvula EGR (Exhaust Gas recirculation): Se re-introducen gases de escape al múltiple de admisión, lo cual no aporta oxígeno para la combustión. Esto hace caer la temperatura en la cámara de combustión y se reduce la formación de NO_x
 - Bobina de encendido
 - Inyectores
 - Válvula de purga del Canister
 - Comando de la válvula aceleradora

- Lámpara de advertencia de fallas
- Bomba de combustible
- Otros componentes relacionados
 - Canister: Receptáculo que tiene carbón activado. Cuando hay mucha presión en el depósito de combustible absorbe los vapores y luego los libera cuando se produce una depresión en el múltiple de admisión.
 - Catalizador

Pregunta: Como es la conexión (a multímetro) para verificar el funcionamiento de los siguientes sensores: Sonda Lambda 4 cables, Sensor de temperatura, sensor MAP. **Diferencias respecto al carburador**

- Menor condensación en múltiple de admisión
- Respuesta más rápida (combustible más cercano a la cámara de combustión)
- Menor contaminación
 - Uso de catalizador para convertir NO_x , CO y H_xC_y en gases no nocivos.
 - Control preciso del tiempo de inyección con mapeo de tiempo ideal para inyectar combustible
 - Recirculación de gases de escape, disminuye NO_x
 - La mejora en la respuesta resulta en un ralentí más parejo y menor condensación de vapor de combustible en múltiple de admisión
- Menor consumo de combustible
 - Uniformidad de la mezcla en cada cilindro
 - Mejor atomización del combustible, mejora η .
 - La localización del inyector provoca menor licuefacción de combustible
 - Corte de combustible en desaceleración

Cálculo de aire de entrada Se puede calcular con sensores tipo: *RPM, volumétrico/paleta(VAF), sensor ultrasónico Von Karman, depresión en el múltiple de admisión, hilo caliente.*

La central de control (ECU) está compuesta por: *Unidad de salida, microprocesador, memoria EPROM y RAM, sistema auto-diagnostico, conexión con sistema CAN.* Las señales de los sensores son contrastadas con los datos escritos en la base de

datos (mapas) y a partir de esto se efectúan parámetros de acción para los actuadores.

CAN. Controller Area Network. En su forma más simple, conecta todos los electrónicos del auto juntos permitiendo la comunicación libre entre ellos.

Sistemas de gestión de motor. Central de control que gestiona no solo la inyección pero también el encendido. LA relación entre gases nocivos emitidos y el control eficiente de un motor es *estrecha*.

Clasificación por cantidad (o ubicación) de inyector

- Sistemas monopunto (indirecta): inyector único para todos los cilindros o por bancada.
- Multipunto: Existen tantos inyectores como cilindros tiene el motor.
 - Puede ser **directa** o **indirecta** (afuera de los cilindros)

Clasificación por secuencia de inyección

- Simultanea. No respeta el mejor momento para inyectar combustible (antigua)
- Grupal. Entremedio entre simultanea y secuencial
- Secuencial. Se hace la inyección en el momento indicado para cada cilindro

Mezcla estequiométrica. Se logra con **14,7** gr de aire por cada 1 gr de gasolina. **14,5** gr de aire para cada 1 gr de Diesel. Para gases es mayor, estando entre 15,8:1 (propano) y 17,4:1 (metano al 97 %).

Gases de escape

- CO. Altamente tóxico al humano. Valores altos indican una mezcla rica o una combustión incompleta
- NO_x . Al reaccionar con rayos ultravioletas genera ácido nítrico (smog). Se forma en condiciones de altas temperaturas. Depende en gran medida del adelanto de encendido. Para un $\lambda \approx 1,07$ se tiene un pico de NO_x producido
- H_xC_y . (hidrocarburos). Contamina suelo. Formado por mezcla rica, mala combustión durante mezcla pobre o escape contaminado con aceite
- CO_2 . Absorbe radiación infrarroja y por ende contribuye al efecto invernadero. Se desea que todo el carbón de los hidrocarburos se convierta en CO_2 . En el catalizador se trata de oxidar CO remanente $\rightarrow \text{CO}_2$. Niveles bajos indican una combustión mala o problemas de encendido.

- O_2 . Alto porcentaje de O_2 indica una mezcla pobre, escape roto, combustión incompleta o desgaste del catalizador
- SO_2 . Nocivo para el medio ambiente, genera lluvia ácida. No se encuentra en grandes concentraciones en motores a gasolina. SO_2 más común en Diesel

Formas para controlar emisiones

- Disminución de relación de compresión. Temperatura $T \downarrow$ $NO_x \downarrow$
- Aumento de ángulo de cruce de válvulas. $\eta_{vol} \uparrow$. Concentración aire fresco $\uparrow \Rightarrow H_xC_y \downarrow$
- Cámaras hemisféricas, aumento de número de válvulas $\uparrow \eta_{vol}$

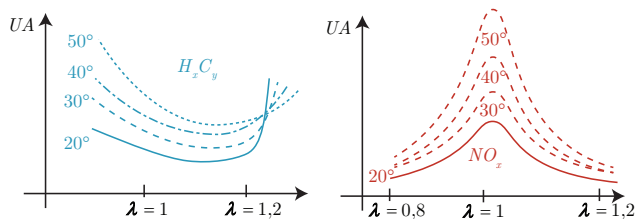


Figura 4: Efecto de apertura de escape (AE) sobre los gases de escape producidos. La producción de CO aumenta a mezclas más ricas ($\lambda < 1$) con el aumento del AE.

13.2. Sonda λ

La sonda lambda mide la *proporción* de O_2 presente en una mezcla de gases.

$$\lambda = \frac{\text{Proporción de } O_2 \text{ medida}}{\text{Proporción de } O_2 \text{ teórica}}$$

El valor λ es la razón entre la proporción oxígeno presente en los gases de escape y la proporción de oxígeno teórica que debería estar presente después de una combustión estequiométrica.

La sonda λ no mide el oxígeno de la mezcla antes de la combustión, está ubicada en el escape! Cuando $\lambda = 1$ se tiene una mezcla estequiométrica, llamada la *Zona Lambda*. Si $\lambda < 1$ se dice que se tiene una mezcla rica (en combustible) y vice versa.

Se suele trabajar con dos sondas cuando se quiere verificar el correcto funcionamiento del catalizador, la sonda lambda primaria (antes del catalizador) y la sonda lambda secundaria (después del catalizador). Comparando las lecturas de ambas se debería ver

una disminución del oxígeno (porque hay oxidación ocurriendo en el catalizador!).

El motor puede trabajar en “Lazo abierto” o “Lazo cerrado” en conjunto con la Sonda Lambda.

Lazo cerrado. El motor busca reducir contaminación disminuyendo o aumentando tiempo de inyección según la lectura de la Sonda Lambda.

En este régimen la señal oscila entre 100mV y 900mV,

Lazo abierto. En ciertas situaciones no es posible trabajar con valores de mezcla estequiométricas. Si se tiene un motor en frío, o en aceleración brusca la central de control no ajusta la mezcla con valores estequiométricos, funcionamiento denominado *lazo abierto*.

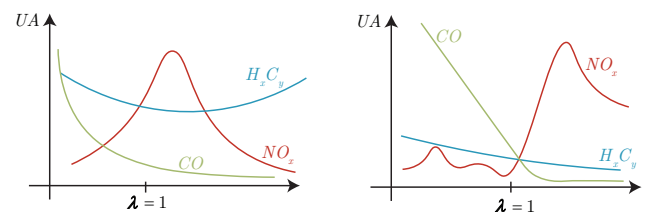


Figura 5: Medición sonda λ antes y después del catalizador. La curva del CO_2 antes del catalizador es idéntica al NO_x pero con el pico en $\lambda = 1$

Catalizador

Idealmente hace reaccionar todos los gases nocivos, efectivamente neutralizando la huella ambiental casi por completo.

Funciona a $400 - 700^\circ C$ con una mezcla del alrededor de $\lambda = 1$ para lograr maximizar su efectividad. Se busca oxidar: $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$, $H_xC_y + (\frac{x}{4} + y)O_2 \rightarrow \frac{x}{2}H_2O + yCO_2$ (reacciones exotérmicas) y reducir los óxidos del nitrógeno $2NO_x \rightarrow N_2 + xO_2$. Se espera que a la salida del catalizador la lectura de la sonda lambda secundaria sea menor a la primaria

13.3. Control de mezcla

- **Cut-off.** Cuando hay un cierre abrupto de la mariposa (se suelta el pedal de aceleración a RPM altas) se advierte al ECU. La ECU corta el suministro de combustible y fija el AE para evitar la formación de H_xC_y
- **Ralentí.** Al número mínimo de revoluciones se inyecta pequeñas cantidades de combustible para permanecer en funcionamiento
- **Dash Pot o retardo de cierre de mariposa.** Impide el cierre total de la mariposa para prevenir la formación de H_xC_y

13.4. Válvula EGR

Recirculación de gases de combustión que enfrían la cámara reduciendo así la cantidad de

NO_x producido. Disminuye la potencia, la eficacia del lubricante (introduce material particulado). La válvula EGR no actúa en ralentí, NO_x , motor frío o baja carga.

Eliminación de gases de cárter de motor. CO en bajas proporciones y H_xC_y en altas proporciones. Originan de evaporación de compuestos de aceite y restos de combustible y gases de combustión que se escapan de la cámara a través de los aros del pistón. Conlleva con una *perdida de potencia, aparición de incrustaciones en trayecto admisión-cámara*.

Vapores de tanque de combustible. Se almacenan los vapores formados en el tanque adentro de un canister de carbón activado que son alimentados a la cámara por medio de una electroválvula.

Inyección de aire. Se puede inyectar aire al trayecto después de la válvula de escape para realizar una post-combustión del CO y H_xC_y para aliviar la tarea del catalizador.

Bomba de combustible. La bomba de combustible tiene el trabajo de presurizar el combustible para la inyección.

Regulador de presión de combustible. Se trata de mantener la diferencia de presión entre el combustible y el múltiple de admisión siempre igual. Estudiar las diferentes posiciones posibles del regulador (con retorno/sin retorno/demanda controlada)

Atenuador de pulsaciones. Amortigua pulsaciones en el fluido de la rampa de inyectores mediante un resorte.

13.5. Actuadores

Inyectores. Electrovalvulas

Bomba lineal. La cantidad de elementos de bombeo es igual al número de cilindros en el motor y se sitúan en línea.

Esta hecha de los siguientes elementos

- La bomba (generador de presión)
- El regulador mecánico (regula RPM según régimen)
- El variador de avance (ajusta el comienzo de inyección en función del número de revoluciones)
- Arbol de levas

Conocer bien la función de los reguladores mecánicos.

13.6. Diesel bomba EDC

Bomba aspira combustible, lo presuriza hasta la presión de inyección.

El combustible pasa a través de una bomba de transferencia rotativa que alimenta la cámara de compresión de émbolos radiales *cuando la electroválvula se abre*.

Cuando la electroválvula se cierra, el combustible de la cámara de compresión se dirige al inyector correspondiente. Una vez que termina la inyección la electroválvula se abre y cae la presión nuevamente.

Avance de inyección. Se realiza mediante la acción del embolo del corrector sobre el embolo de control

13.7. Common Rail

Controla la inyección de combustible Diesel en el momento correcto, con el caudal correcto y con la presión necesaria. Se reduce el ruido y favorece el motor.

Se compone de:

- Unidad de control
- Bomba de alta presión
 - Válvula de desconexión del elemento
 - Válvula reguladora de presión
 - Previo a la entrada de la bomba: Filtro de combustible y bomba previa
- Acumulador de alta presión (Rail)
 - Sensor de presión Rail
- Inyectores
- Medidor de masa de aire
- Sensor de revoluciones de cigüeñal
- Sensor de temperatura del líquido refrigerante
- Filtro de combustible
- Sensor del pedal del acelerador
- Turbocompresor

Diferencias con inyectores convencionales

- Presión constante después de un cierto número de vueltas (convencionales aumenta linealmente)

- Presión de inyección constante durante inyección. Las combustiones favorables requieren pequeños caudales al comienzo de la inyección. Por eso el sistema Common Rail cuenta con una inyección previa pequeña ($1 - 4\text{mm}^2$)

Características de la inyección previa. Puede estar adelantada del PMS hasta 90° aunque antes de los 40° esto puede ocasionar problemas al tener contacto entre el combustible y las paredes del cilindro y pistón, provocando una dilución inadmisibles del aceite lubricante.

Con la inyección previa se logra que *la presión de compresión aumente ligeramente mediante una combustión parcial previa al PMS, reducir el retardo de encendido a la inyección principal, reducir el aumento de la presión de combustión y suavizar los picos de presión.*

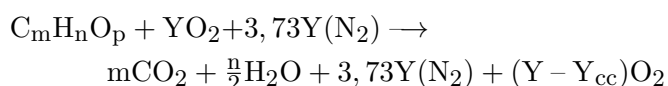
Características de la inyección posterior. Se puede aplicar por los efectos reductores de los aditivos del combustible. Puede suceder hasta 200° después del cigüeñal durante la etapa de expansión o escape.

13.8. Combustible

Reacciones. Recordemos que el aire es una mezcla de varios gases. En su mayor parte es Nitrogeno (78,09 %), oxígeno (20,95 %) y argón (0,93 %).

$$\frac{78,09}{20,95} = 3,73$$

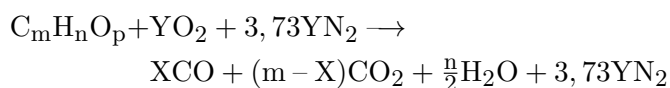
La reacción general para aire en exceso:



donde Y es la cantidad de moles de oxígeno suministrados. Y_{cc} es la cantidad de moles de oxígeno requeridos para lograr la reacción estequiométrica.

En el caso que $Y = Y_{cc}$ entonces se tiene una mezcla estequiométrica y no se produce O_2 .

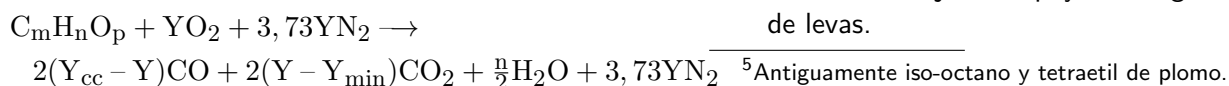
La reacción general para mezcla rica:



$$\frac{p}{2} + Y = \frac{X}{2} + (m - X) + \frac{n}{4}$$

$$\Rightarrow X = 2 \left(m + \frac{n}{4} - \frac{p}{2} - Y \right) = 2(Y_{cc} - Y)$$

la fórmula queda



Hidrocarburos líquidos.

- Bencinas o Gasolina=nafta. Motores encendidos por chispa.
- Gasóleos: Gasoil, fuel oil etc.
- Kerosene. Alto poder calorífico. No se suele usar por su alta viscosidad y contaminación.
- Benzol y alcoholes. Considerados carburantes

Poder antidetonante o número de octano (NO). Se obtiene comparando el carburante con combustibles de referencia: el *iso-octano* y el *heptano*⁵ Iso-octano tiene cualidades muy antidetonantes y se lo toma como referencia NO = 100. El Heptano en cambio detona con facilidad NO = 0.

Un combustible que a la misma relación de compresión que una mezcla 80 % de iso-octano y 20 % heptano, tiene un NO = 80.

Formas de medir el NO.

- RON Research Octane Number: Asociado al funcionamiento con altas velocidades y detonación media o suave
- MON Motor Octane Number: Asociado a velocidades altas, temperaturas y funcionamiento a media o alta carga.

14. Lubricantes

Tres tipos básicos de lubricación. Hidrodinámico o fluido, rozamiento semifluido, rozamiento seco. Lo ideal es llegar a lubricar hidrodinámico (no hay contacto entre partes sólidas).

Funciones y algunas propiedades necesarias del aceite lubricante:

- Refrigerar zonas a lubricar. Refrigerar zona interior del pistón.
- Aumentar estanqueidad entre segmentos y el cilindro elevando la compresión
- Amortigua las cargas fluctuantes sobre cojinetes
- Limpia y transporta carbonilla y partículas al filtro.
- **Protege contra la corrosión.** Previene formación de ácidos que carcomen la parte más frágil del motor: bujes de apoyo del cigüeñal y árbol de levas.

⁵ Antiguamente iso-octano y tetraetil de plomo.

- Se lo aditiva así mantiene la viscosidad en caliente y la fluidez en frío. Hoy en día TODOS los aceites tienen aditivos.

- **Detergente.** Limpia partes mecánicas
- **Dispersante.** “Rodea” partículas sueltas y evita formación de compuestos
- **Antiespumante.** Evita formación de burbujas para no disminuir capacidad lubricante

- El aceite que pasa a la cámara tiene que quemarse sin dejar residuos
- Untuoso: Capacidad de adherirse a las superficies metálicas

■

14.1. Parámetros característicos de un lubricante.

Las escalas de SAE se usan para medir la viscosidad de un aceite. **Índice de viscosidad.** El *viscosity index* o VI nos dice cuanto varía la viscosidad ante un cambio de temperatura.

$$\frac{d\mu}{dT} \propto VI^{-1}$$

osea que la viscosidad de un lubricante con alto VI no varía fuertemente con cambios de temperatura.

Un aceite **multigrado**, a diferencia de un aceite monogrado tiene mayor margen de temperatura de trabajo (alto VI). Esto se logra con aditivos. SAE los denomina con una “W”. Un SAE 20W 40 se comporta como un SAE 20 a bajas temperaturas y como un SAE 40 a altas temperaturas.

Total Base Number (TBN). La propiedad *detergente* de los aceites. Gracias a esta propiedad los aceites mantienen en suspensión las partículas, evitando que entren en contacto con superficies e incrustaciones.

Los aditivos que logran esta mejora (**TBN**) son químicamente *básicos*. De esta forma contrarrestan también la formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por causa del contenido de azufre en el combustible.

Suele pasar con Diesel por el alto contenido de azufre.

Clasificación API. Usada en EE.UU y la mayor parte de latinoamérica.⁶ Las categorías API se dividen en dos series:

- S - Spark ignition (motores Otto)

- C - Compression (motores Diesel)

El número que procede a las letras de categoría es el tiempo del motor (dos tiempos/cuatro tiempos).

Si se indica que es “Plus” es porque cumple con las especificaciones de la categoría indicada y los *excede!* Esto no significa que cumple con las especificaciones de la próxima categoría!

El API Doughnut Un ejemplo de una clasificación API: API SERVICE CI-4/SL Nos dice que es un aceite para motores Diesel de 4 tiempos con la posibilidad de usarse con motores de Otto calificados para **SL**. (C=Compression Ignition, S=Spark Ignition). La clasificación del aceite es **SL**, una clasificación anterior a **SN** aún no obsoleta.



Figura 6: Como ubicarse con un API “doughnut”. Las últimas letras son SN, la clasificación del aceite, en este caso para motor Otto. En el momento que fue escrito este documento la última clasificación del API era la SN Plus para motores Otto aprobada el 9 de noviembre 2017 y CK-4 para motores Diesel aprobada 2017. Existe la clasificación FA-4 para motores Diesel de bajo contenido de sulfuro (<0,0015 %), introducida 2017.

14.2. Sistema de lubricación del motor endotérmico

- Engrase a presión (el más utilizado). Típica presión de engrase: 0,5-1 bar a ralentí. 3-5 bar en régimen
- Engrase por mezcla con el combustible

Engrase a presión. El aceite pasa por los canales del block y la culata, lubrica los cojinetes, rebalsa y cae al cárter. En el cárter es succionado por la bomba haciéndolo pasar por un filtro y al conducto principal y se repite. A la salida de la bomba hay una válvula de descarga que limita la presión máxima del aceite.

⁶En Europa el organismo de control es la ACEA

Los apoyos Los componentes engrasados a presión
Filtro. Cuando está puesto en *serie* todo el aceite
pasa por el filtro. Menos común son los filtros de
derivación que solo filtran el aceite del cárter. Como
regla general se suele cambiar el filtro cada 15000
km o al año.