

COMPARATIVA CICLOS TEÓRICOS TERMODINÁMICOS MEP, MEC Y MEC LENTO

Capítulo 1. Ciclo Termodinámico Teórico de un MEP

En el presente trabajo, se pone de manifiesto el estudio de los ciclos termodinámicos, de los diferentes motores de combustión interna alternativos, obteniendo valores numéricos del rendimiento térmico de cada uno, para su posterior análisis.

Siguiendo las leyes termodinámicas, que rigen las transformaciones referidas al aire considerándolo como gas perfecto, se puede observar que para valores constructivos iguales en los tres motores, se obtienen rendimientos térmicos diferentes. Aunque de sobra se sabe, que el diseño geométrico de un motor de encendido provocado, no es el mismo que en un motor de encendido por compresión. Tanto por limitaciones mecánicas, como termodinámicas.

Se trata de realizar una serie de cálculos referidos a un motor cuya geometría se conoce, así como sus valores de presión y temperatura iniciales. Ya que éstos, coinciden con los valores de presión y temperatura que tendría el aire ambiente.

En el ciclo de trabajo P-V, se van a representar las evoluciones termodinámicas, correspondientes a los tiempos de compresión, combustión, expansión y principio del escape. Ignorando los tiempos de admisión y final del escape, ya que siguen un proceso isóbaro, e igual a la presión atmosférica y no realizan ningún trabajo en el ciclo.

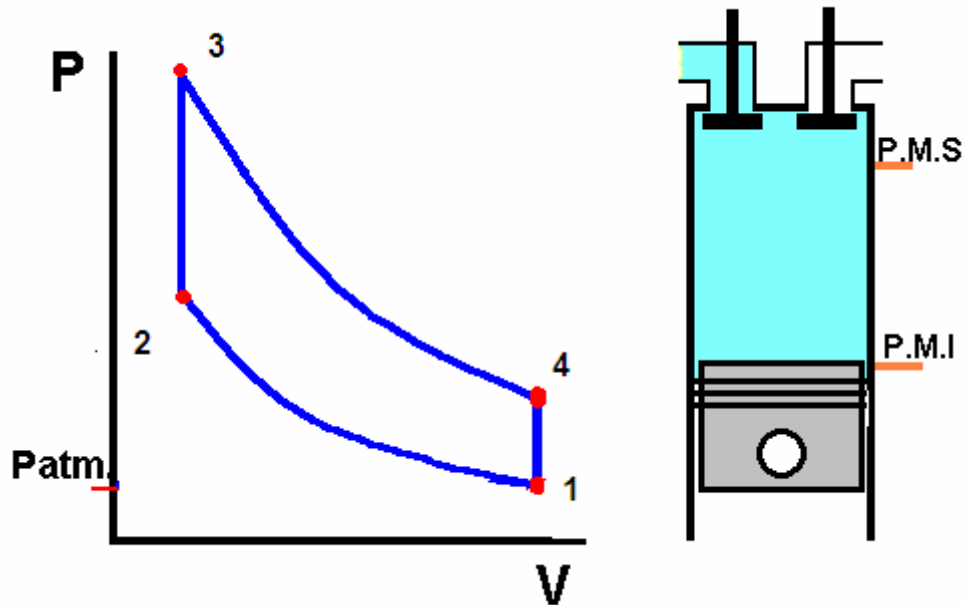
Las condiciones ambientales consideradas para dichos cálculos son las siguientes:

- El aire se comporta como gas perfecto
- $C_p = 1 \text{ KJ/Kg}$
- $R_i = 0.287 \text{ KJ/KgK}$
- Presión atmosférica = 1 bar
- Temperatura ambiental = 30°C

Los datos referidos al motor son los siguientes:

- Relación de compresión = 11/1
- Calor aportado por el combustible al ciclo = 2200 KJ/Kg

Comenzaremos analizando, el ciclo termodinámico teórico de un MEP, de combustión a volumen constante.



Punto 1. El pistón se encuentra en el PMI, preparado para realizar la carrera de compresión, y en dicho instante, los valores de presión y temperatura son los siguientes:

$$P_1 = 1\text{bar}$$

$$T_1 = 30 \oplus 273 = 303\text{K}$$

Según la ecuación de Clapeyron o de los gases perfectos aplicada en el punto 1, se obtiene:

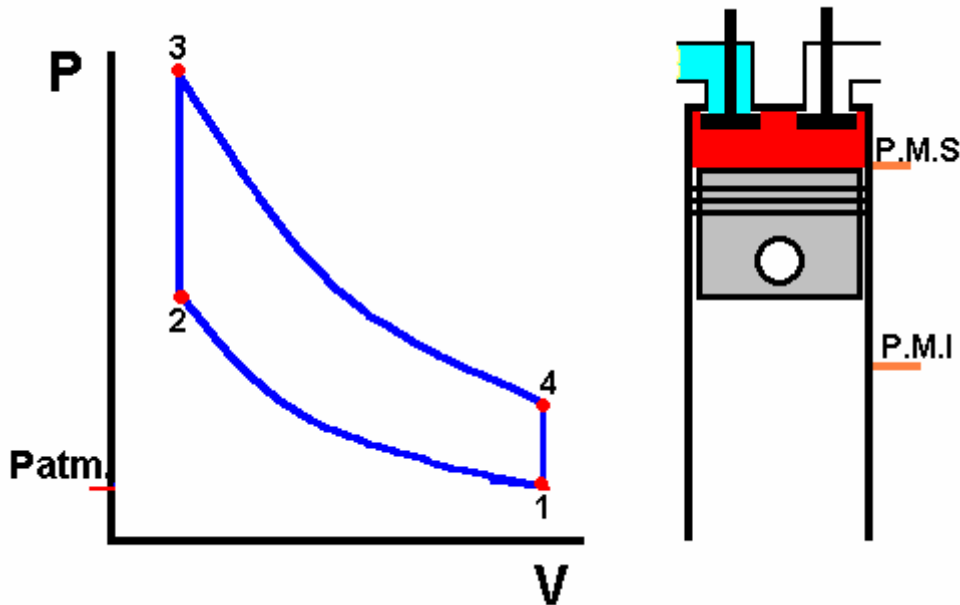
$$P * v = R * T \Rightarrow P_1 * v_1 = R * T_1$$

$$v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} \Rightarrow v_1 = \frac{0.287\text{Kj} / \text{Kg} * \text{K} * 303\text{K}}{1 * 100\text{KN} / \text{m}^2} = 0.87\text{m}^3 / \text{Kg}$$

Los valores de presión, temperatura y volumen específicos para el punto 1 quedan de la siguiente forma.

| | |
|----|------------------------|
| P1 | 1bar |
| T1 | 30°C |
| V1 | 0.87m ³ /Kg |

Punto 2. El pistón ha realizado la carrera de compresión, desplazándose desde el PMI, hasta el PMS. Durante este proceso no se cede calor a las paredes del cilindro, por tanto se considera un proceso adiabático.



Haciendo uso de la ecuación que rige los procesos adiabáticos entre los puntos 1 y 2, se obtiene la presión, al final de la compresión.

$$P_1 * v_1^\gamma = P_2 * v_2^\gamma$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$\gamma \Rightarrow$ Relación termodinámica de calores específicos

$C_p = 1 \text{Kj} / \text{Kg} * \text{K} \Rightarrow$ Calor específico del aire como gas ideal, a presión constante.

$C_v = 0.713 \text{Kj} / \text{Kg} * \text{K} \Rightarrow$ Calor específico del aire como gas ideal, a volumen constante.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1}{0.713} = 1.4$$

Observando la ecuación de las adiabáticas, para poder obtener P_2 , es necesario conocer antes v_2 .

$$Rc = \frac{v_1}{v_2} = 11 \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{Rc} = \frac{0.87}{11} = 0.079m^3 / Kg$$

Aplicamos ahora la ecuación de las adiabáticas y despejamos P_2 :

$$P_1 * v_1^\gamma = P_2 * v_2^\gamma$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^\gamma = Rc^\gamma \Rightarrow P_2 = P_1 * Rc^\gamma = 1 * 11^{1.4} = 28.88bar$$

Para obtener la temperatura, se aplica la ecuación de los gases perfectos en el punto 2 y se despeja T_2

$$P * v = R * T \Rightarrow P_2 * v_2 = R * T_2$$

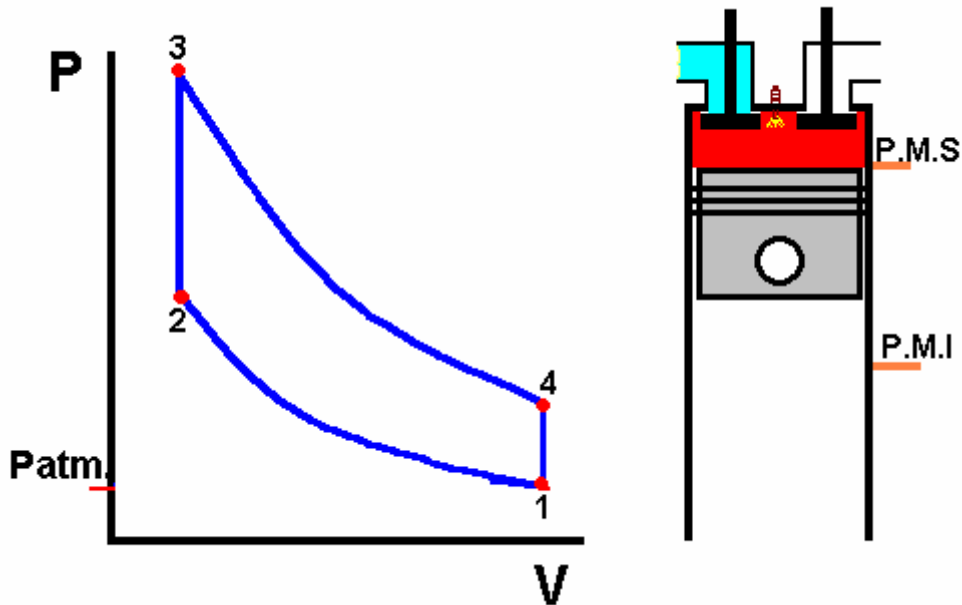
$$T_2 = \frac{P_2 * v_2}{R} = \frac{2888KN / m^2 * 0.079m^3 / Kg}{0.287KJ / KgK} = 795.48K$$

$$T_2 = 795.48 - 273 = 522.5^\circ C$$

Los parámetros termodinámicos al final de la compresión son los siguientes:

| | |
|----|------------|
| P2 | 28.88bar |
| T2 | 522.5°C |
| V2 | 0.079m3/Kg |

Punto 3. El pistón se encuentra en el P.M.S y se ha realizado la combustión. El aporte de calor tiene lugar mediante un proceso isócoro 2-3



Por la condición de ser un proceso isócoro, se tiene que

$$v_2 = v_3 = 0.079 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

El calor aportado al ciclo es dato del problema, por lo que si C_v es el calor específico a volumen constante, se tiene que:

$$Q_a = C_v * \Delta T$$

$$\Delta T = T_3 - T_2$$

$$Q_a = C_v * \Delta T = C_v * (T_3 - T_2)$$

Se despeja T_3 ;

$$T_3 = \frac{Q_a}{C_v} \oplus T_2 = \frac{2200 \text{ KJ} / \text{Kg}}{0.713 \text{ KJ} / \text{KgK}} \oplus 795.48 \text{ K} = 3881 \text{ K}$$

$$T_3 = 3881 - 273 = 3608^\circ \text{ C}$$

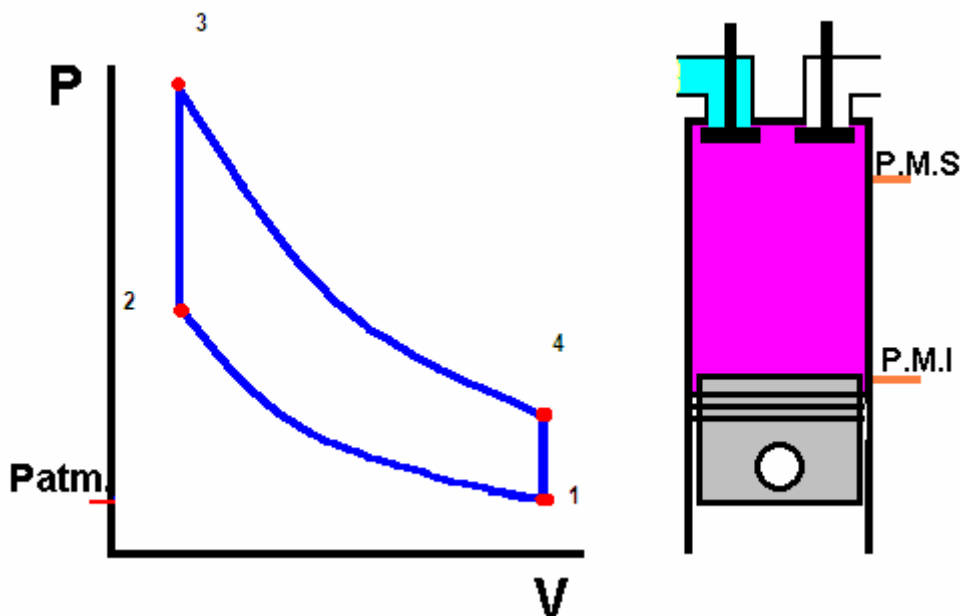
Utilizando la ecuación de los gases perfectos, se obtiene la presión al final de la combustión;

$$P * v = R * T \Rightarrow P_3 * v_3 = R * T_3$$

$$P_3 * v_3 = R * T_3 \Rightarrow P_3 = \frac{R * T_3}{v_3} = \frac{0.287 \text{ KJ / KgK} * 3881 \text{ K}}{0.079 \text{ m}^3 / \text{Kg}} = 14099.44 \text{ KN / m}^2 \Rightarrow 140.99 \text{ bar}$$

| | |
|----|-------------------------|
| P3 | 140.99bar |
| T3 | 3608°C |
| V3 | 0.079m ³ /Kg |

Punto 4. Se ha producido la carrera de expansión o trabajo durante el proceso 3-4, considerado adiabático porque no existe cesión de calor. El pistón se encuentra en el PMI a una presión superior a la atmosférica.



Para calcular las coordenadas del punto 4, tenemos dos datos, la evolución 3-4 que es adiabática, por la propia definición del ciclo y el volumen $v_4 = v_1$, así pues;

$$v_4 = v_1 = 0.87m^3 / Kg$$

Haciendo uso de la ecuación en el proceso adiabático 3-4, se obtiene la presión en el punto 4.

$$P_3 * v_3^\gamma = P_4 * v_4^\gamma$$

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^\gamma \Rightarrow P_4 = P_3 * \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^\gamma = 14099.44KN / m^2 * \left(\frac{0.079}{0.87}\right)^{1.4} ;$$

$$P_4 = 14099.44KN / m^2 * 0.0908^{1.4} = 14099.44 * 0.0348 = 490.41KN / m^2 \Rightarrow 4.90bar$$

Con la ecuación de los gases perfectos aplicada en el punto 4, se obtiene la temperatura;

$$P * v = R * T \Rightarrow P_4 * v_4 = R * T_4$$

Se despeja la temperatura;

$$T_4 = \frac{P_4 * v_4}{R} = \frac{490.41KN / m^2 * 0.87m^3 / Kg}{0.287KJ / Kg * K} = \frac{426.65}{0.287} = 1486K \Rightarrow 1213^\circ C$$

| | |
|----|-----------|
| P4 | 4.90bar |
| T4 | 1213°C |
| V4 | 0.87m3/Kg |

Una vez obtenidos los valores de presión, temperatura y volumen específico, en cada uno de los puntos del ciclo y conociendo el calor aportado por el combustible (que es un dato), se puede aplicar el primer principio de la termodinámica, para obtener el trabajo específico;

$$W = Q_a - Q_c$$

$W \Rightarrow$ Trabajo específico

$Q_a \Rightarrow$ Calor aportado

$Q_c \Rightarrow$ Calor cedido

El calor aportado es un dato $Q_a = 2200 \text{ KJ / Kg}$, pero que podemos hallar y comprobar con los parámetros que ya conocemos. El aporte de calor al ciclo, tiene lugar siguiendo el proceso isócoro 3-4.

$$Q_a = C_v * \Delta T = C_v * (T_3 - T_2) = 0.713 \text{ KJ / KgK} * (3881 - 795.48) = 2199.99 \text{ KJ / kg}$$

$$Q_a = 2199.99 \text{ KJ / Kg} \approx 2200 \text{ KJ / Kg}$$

Se halla ahora el calor cedido en el principio del escape, proceso isócoro 4-1.

$$Q_c = C_v * \Delta T = C_v * (T_4 - T_1) = 0.713 \text{ KJ / KgK} * (1486 - 303) = 843.47 \text{ KJ / kg}$$

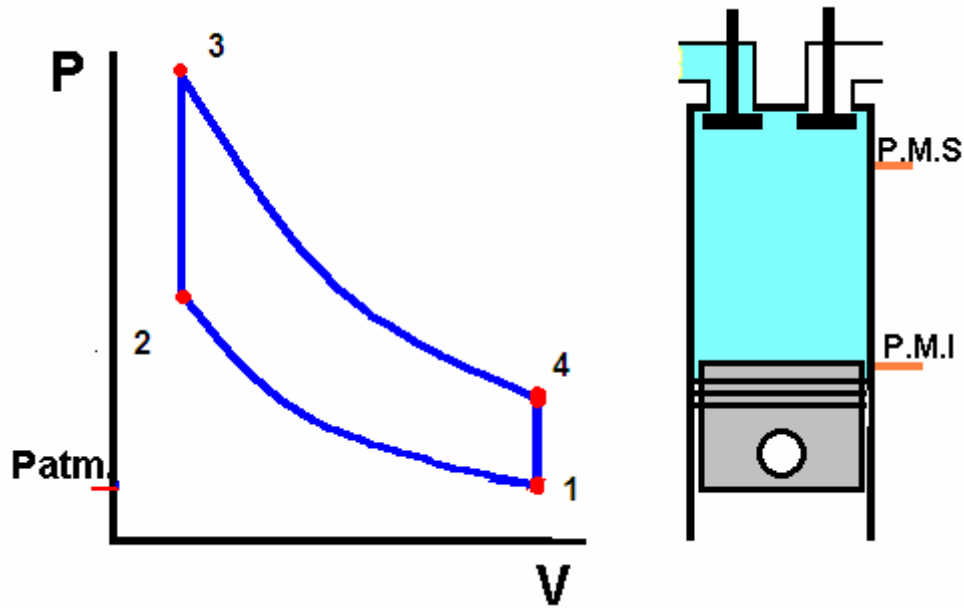
El trabajo específico resultante es;

$$W = Q_a - Q_c = 2200 - 843.47 = 1356.52 \text{ KJ / Kg}$$

El rendimiento termodinámico es;

$$\eta_{iMEP} = \frac{Q_a - Q_c}{Q_a} = \frac{W}{Q_a} = \frac{1356.52}{2200} = 0.616$$

Resultados obtenidos para el ciclo teórico de un MEP



| MEP | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|------|-------|--------|------|
| P(bar) | 1 | 28.88 | 140.99 | 4.90 |
| T(K) | 30 | 522.5 | 3608 | 1213 |
| V(m ³ /Kg) | 0.87 | 0.079 | 0.079 | 0.87 |
| $\eta=0.616$ | | | | |