

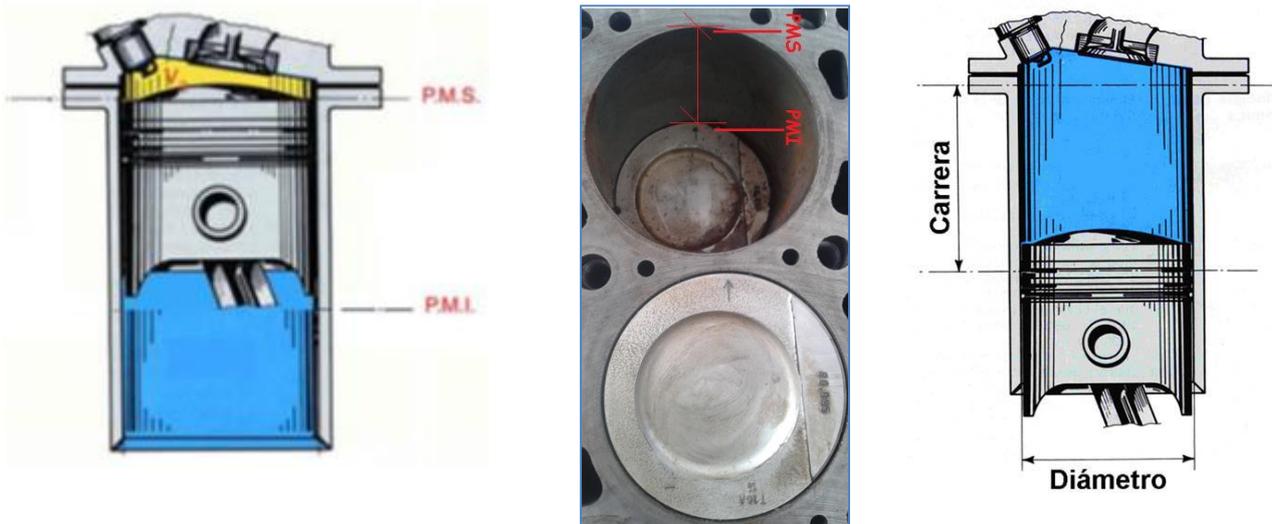
ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE N° 01

CÁLCULO DEL MOTOR

I. CILINDRADA, RELACIÓN CARRERA DIÁMETRO Y GRADO DE ADMISIÓN.

1.1. CILINDRADA

El pistón en el cilindro va de arriba abajo o de delante atrás. Los puntos de inversión, en los que el pistón invierte su movimiento se llama punto muerto superior o punto muerto inferior.



La cilindrada es el espacio comprendido en el cilindro entre el punto muerto superior y el punto muerto inferior. Es el que recorre el pistón.

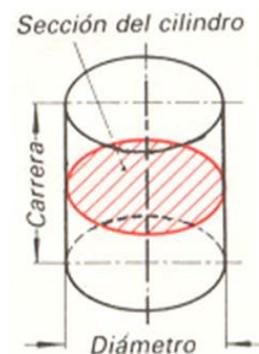
La cilindrada se calcula como el volumen de un cilindro. El diámetro es el cilindro y la altura es la carrera.

Se distingue entre:

a) Cilindrada de un cilindro (cubicación de un cilindro)

$$V_h = A \cdot s$$

$$V_h = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot s}{4} \text{ [cm}^3\text{]}$$



b) Cilindrada total (del motor)

$$V_H = V_h \cdot i$$

$$V_H = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot s \cdot i}{4} [cm^3]$$

DONDE:

V_h : cilindrada de un cilindro [m^3]

V_H : cilindrada del motor [m^3]

D : diámetro del cilindro

s : Carrera [mm]

i : Numero de cilindros

η_f : grado de admisión.

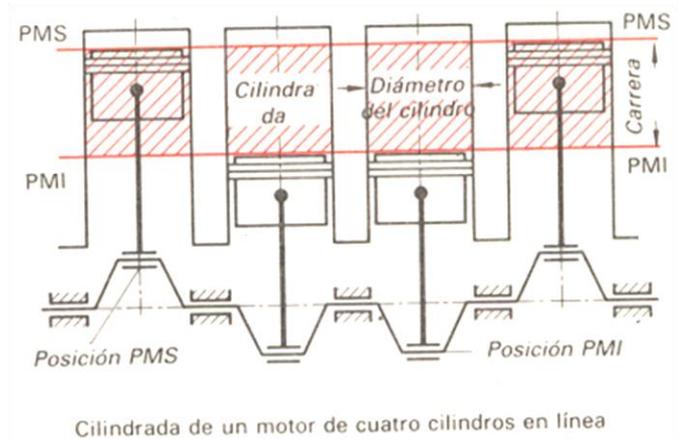
V_F : Cantidad de gas nuevo [m^3]

V_{Fmin} : Cantidad de gas nuevo por minuto [1/min]

n : Revoluciones del motor

A : Sección del cilindro [m^2]

α : Relación de carrera a diámetro [-]

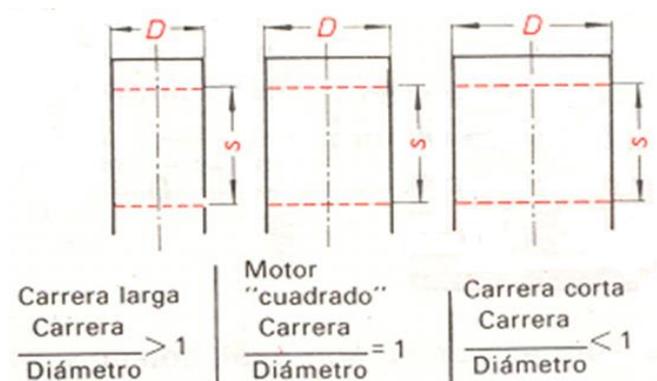


1.2. RELACIÓN CARRERA SOBRE DIÁMETRO

La carrera es la distancia entre el PMS y el PMI. El diámetro del cilindro es igual al diámetro del pistón más el huelgo.

La carrera del pistón y el diámetro del cilindro de un motor guarda entre sí una relación determinada que se denomina relación de carrera a diámetro.

$$\alpha = \frac{s}{D} [-]$$



1.2.1. Motores cuadrados:

Son los motores cuya relación carrera del pistón / diámetro del cilindro es igual a uno.

Ejemplo:

Un motor que tenga una carrera de 80 mm y un diámetro de 80 mm, tendrá una relación de:

$$\frac{80 \text{ mm de carrera}}{80 \text{ mm de diámetro}} = 1$$



- **Ventaja:** cámara compacta;
- **Desventaja:** no puede girar muy deprisa.

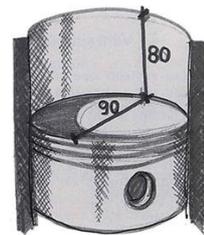
1.2.2. Motores de carrera corta

Son los motores cuya relación carrera del pistón / diámetro es inferior a uno (hasta 0,7 veces aproximadamente).

Ejemplo:

Un motor que tenga una carrera de 80 mm y un diámetro de 90 mm, tendrá una relación de:

$$80 \text{ mm de carrera} / 90 \text{ mm de diámetro} = 0,888$$



- **Ventajas:**
 - ✓ Pueden girar muy deprisa
 - ✓ Mucho espacio para válvulas
- **Desventaja:**
 - ✓ Cámara poco compacta
 - ✓ Cigüeñal robusto por ser menor.
 - ✓ Muchas pérdidas de calor (elevada superficie/volumen)

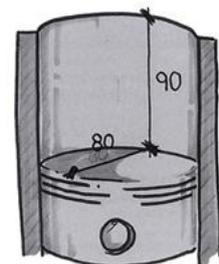
1.2.3. Motores de carrera larga

Son los motores cuya relación carrera del pistón / diámetro del cilindro es superior a uno (hasta 1,2 veces aproximadamente).

Ejemplo:

Un motor que tenga una carrera del pistón de 90 mm y un diámetro del cilindro de 80 mm, tendrá una relación de:

$$90 \text{ mm de carrera} / 80 \text{ mm de diámetro} = 1,125$$



- ✓ En torno a este valor están muchos motores

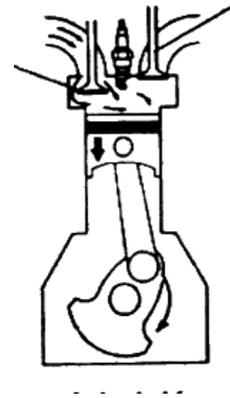
1.3. GRADO DE ADMISIÓN (rendimiento volumétrico)

En el cilindro durante los ciclos de trabajo, quedan gases remanentes que perturban el relleno con la mezcla de combustible y aire, por lo que esta resulta menor que la cilindrada

El grado de admisión es la relación entre la aspiración efectiva de la mezcla combustible nueva y cilindrada.

$$\eta_F = \frac{V_F}{V_h} [-]$$

$$V_F = \eta_F \cdot V_h \cdot [cm^3]$$



Multiplicando la última fórmula por el número de revoluciones (1/min) y el número de cilindros (i) se obtiene la cantidad de gas nuevo aspirado por minuto.

$$V_{Fmin} = \frac{\eta_F \cdot V_h \cdot i \cdot n}{2} [l/min]$$

EJERCICIOS:

- 1) Un motor monocilíndrico tiene 66 mm de diámetro y una carrera de 58 mm calcular la cilindrada en cm^3 y en Litros.
- 2) El motor de un cilindro de una motocicleta tiene una cilindrada de 245 cm^3 y un diámetro de 68 mm ¿Cuál es la longitud de la carrera?
- 3) Un motor tienen las siguientes características: $V_h=78 \text{ cm}^3$, $s=45 \text{ mm}$, $i= 1$. Calcular el diámetro del cilindro en mm.
- 4) Un motor de 2 cilindros opuestos tiene una cilindrada total de 494 cm^3 . El diámetro de los cilindros es 68 mm.
 - a) Calcular la carrera en mm
 - b) ¿Cuántos litros de mezcla combustible–aire se aspiran en una hora si $\eta_F = 0.8$ a $2\,500 \frac{\text{l}}{\text{min}}$?
- 5) Un motor tiene una cilindrada total de 1988 cm^3 , Un diámetro de 87 mm y una carrera de 83.6 mm.
 - a) ¿Cuántos cilindros tiene el motor?
 - b) Calcular α y decir de qué tipo de motor se trata.
- 6) Calcular el diámetro de los cilindros de un motor de cuatro cilindros opuestos de cilindrada total de 1584 cm^3 y 69 mm de carrera.
- 7) Un turismo tiene $D=90\text{mm}$, $s=66.8 \text{ mm}$ e $i=4$. En la aspiración solo se llena el 76% de la cilindrada del motor de cuatro tiempos con gas nuevo.
 - a) Calcular V_H y V_h en cm^3 y *litros*.
 - b) Calcular α y decir de que motor se trata.
 - c) Calcular η_F y V_F por minuto a 2000 l/min

II. RELACIÓN DE COMPRESIÓN, CÁMARA DE COMPRESIÓN Y AUMENTO DE COMPRESIÓN.

En el tiempo de la compresión se comprimen conjuntamente la mezcla aspirada de combustible y aire o el aire puro hasta un volumen reducido. El objeto de compresión es elevar la potencia. La compresión origina lo siguiente:

- 1° aumento de la compresión
- 2° Elevación de la temperatura
- 3° La mezcla del aire con el combustible
- 4° La gasificación íntegra de la mezcla combustible aire en los motores Otto.

La cámara de compresión es el espacio sobre el punto muerto superior.

El volumen del cilindro se compone de la cilindrada (correspondiente a la carrera) y el de la cámara de combustión.

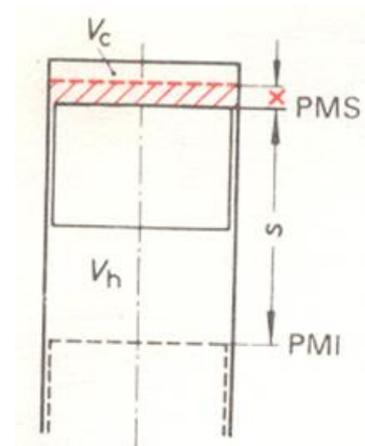
La relación de compresión indica cuantas veces es mayor el volumen del cilindro que la cámara de compresión. Indica por lo tanto, a cuanto se reduce por compresión el volumen original de la mezcla combustible-aire (aire puro).

La relación de compresión se puede aumentar reduciendo la cámara de compresión mediante juntas de culata más finas, aplanando la culata o pistones más altos.

Una mayor compresión aumenta la potencia del motor, pero aumenta también la tendencia al picado.

DONDE:

- ϵ : Relación de compresión [-]
- V_h : Cilindrada o volumen carrera [lts]
- V_c : cámara de compresión [lts]
- s : Carrera [mm]
- ϵ_a : Relación de compresión anterior al aplanado
- ϵ_n : Relación de compresión después del aplanado
- X : Aplanado



2.1. Relación de compresión

$$\epsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad [-]$$

2.2. Cámara de compresión

$$V_c = \frac{V_h}{\epsilon - 1} \quad [cm^3]$$

2.3. Aumento de la compresión

$$X = \frac{s}{\epsilon_a - 1} - \frac{s}{\epsilon_n - 1} \quad [mm]$$

EJERCICIOS:

- 1) Un motor Otto de cuatro cilindros tiene una cilindrada total de 1992 cm³ y una cámara de compresión de 62.25 cm³ por cilindro. ¿cuál es su relación de compresión?
- 2) Un motor Diesel de seis cilindros tiene una cilindrada total de 6.12 litros y una cámara de compresión de 68 cm³ por cilindro.
 - a) Calcular la relación de compresión.
 - b) Explicar en qué se diferencia el motor Otto del motor Diesel en lo que se refiere a la relación de compresión.
- 3) Un motor Otto tiene las siguientes características: D=75mm, s=61 mm, i=4 y V_c=41.44 cm³.
 - a) Calcular la cilindrada total y por cilindro en cm³ y litros.
 - b) Determinar la relación de compresión.
- 4) El motor de un automóvil tienen una carrera de 85.28 mm. La compresión se ha de elevar de 9,2: a 9,5:1. ¿Cuántos mm hay que aplanar la culata?
- 5) Las características de un motor son:

D=80mm, s=82mm, i=6, V_c=46.8 cm³.

 - a) Calcular la cilindrada total y por cilindro en cm³.
 - b) ¿Cuál es el valor de la relación de compresión?
 - c) Determinar el radio del cigüeñal en mm.
 - d) Calcular el recorrido (perímetro) del cigüeñal en su giro, en mm.
- 6) Un motor tiene s=81 mm, D=76mm y $\epsilon = 08, 5: 1$. La compresión se ha de elevar a 9:1.
 - a) Calcular el aplanado X en mm.
 - b) Calcular V_c por cilindro, en cm³, antes y después del aplanado.
- 7) Un motor monocilíndrico tienen una cilindrada de 245,4 cm³ y una relación de compresión $\epsilon = 7: 1$. ¿Cuál es el volumen de su cámara de compresión, en cm³?
- 8) Un motor de cuatro cilindros en línea tienen una cilindrada total de 1618 cm³ y $\epsilon = 7, 6: 1$.
 - a) Calcular el volumen de la compresión, en cm³.
 - b) Determinar la relación de carrera a diámetro si D=84mm y s=73 mm.
 - c) ¿Cuál es su grado de admisión si aspira 1132,6 cm³ de gas nuevo?

III. PRESIÓN DEL GAS EN EL CILINDRO, FUERZA DEL EMBOLO.

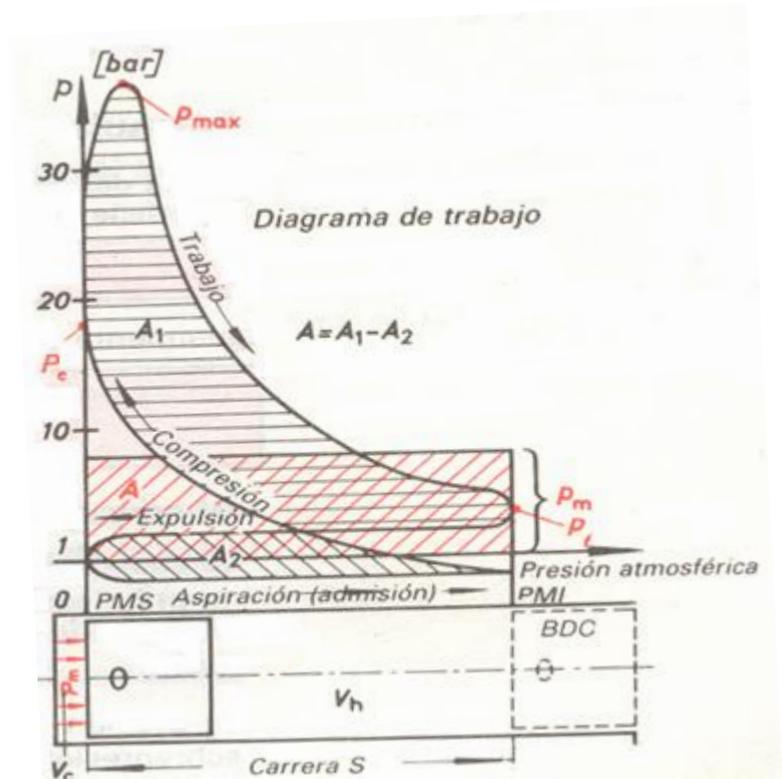
3.1. Presión de gas en el cilindro

1º En la admisión la línea de presión queda por debajo de la línea de presión atmosférica. Aparece una depresión o vacío, (0,1 a 0,2) bar de depresión.

2º En la compresión se eleva la presión hasta una presión final motores Otto (11-18 bar) motores Diésel (30-35 bar) de sobrepresión

3º Consta de dos partes combustión y expansión. En la combustión se eleva la presión hasta una presión máxima de combustión motores Otto 40-60 bar motores Diésel 65-90 bar. En la carrera de descenso del pistón se expansionan los gases y desciende la presión hasta 2-4 bar.

4º En la expulsión de los gases quemados queda todavía una ligera sobrepresión de 0.5 bar.



3.2. Fuerza del émbolo

La presión originada por la combustión del gas actúa en cada centímetro cuadrado, multiplicando esa presión por la superficie de la cabeza del pistón se tiene la fuerza que este ejerce.

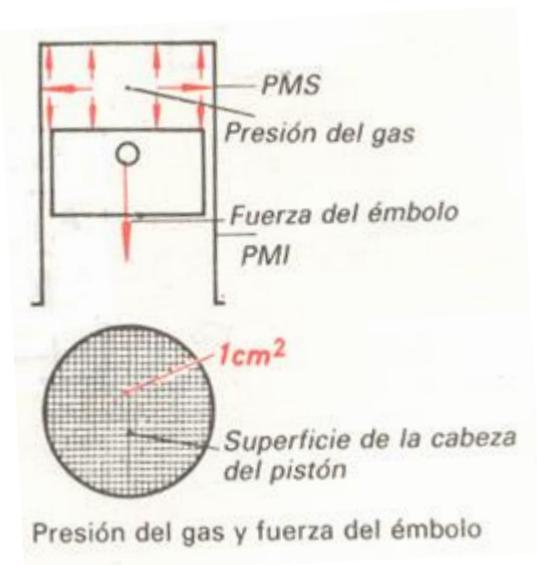
La presión media de la combustión en los motores Otto y diesel está entre 6 y 10 bar de sobrepresión.

Fuerza del émbolo = Presión del gas x Superficie presionada.

$$F_e = 10 \cdot p \cdot A_e \quad [N]$$

$$F_{e \max} = 10 \cdot p_{\max} \cdot A_e \quad [N]$$

$$F_{e m} = 10 \cdot p_m \cdot A_e \quad [N]$$



DONDE:

p =Presión del gas [bar]

p_{max} = Presión máxima de la combustión [bar]

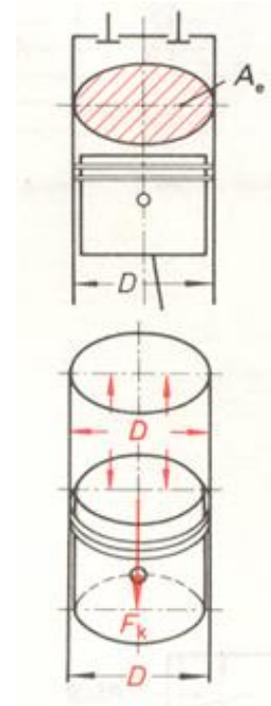
p_m = Presión media de la combustión [bar]

F_e =Fuerza del émbolo

$F_{e max}$ =Fuerza máxima del émbolo

$F_{e m}$ = Fuerza media del émbolo

A_e = Superficie de la cabeza del émbolo



EJERCICIOS:

- 1) Un motor de seis cilindros tiene $D=84\text{mm}$.
 - a) Calcular en cm^2 la superficie de la cabeza de un pistón.
 - b) ¿Qué superficie total de pistones tienen el motor, en cm^2 ?
- 2) La superficie de la cabeza de un pistón del motor de un automóvil es de $53,56\text{ cm}^2$. Calcular el diámetro del cilindro en cm y mm .
- 3) El diámetro del pistón de un motor Otto mide $83,5\text{mm}$. ¿qué fuerza máxima ejercerá el pistón si la presión máxima de la combustión es de 46 bares de sobrepresión?
- 4) En un motor diesel actúa al final de tiempo de la compresión una fuerza de $3506,1\text{ daN}$ sobre la cabeza del pistón. ¿Cuál es la presión final de la combustión en bar de sobrepresión si el diámetro del pistón es de 120 mm . (la fuerza está indicada en daN)

IV. MOMENTO DE GIRO DEL MOTOR (PAR).

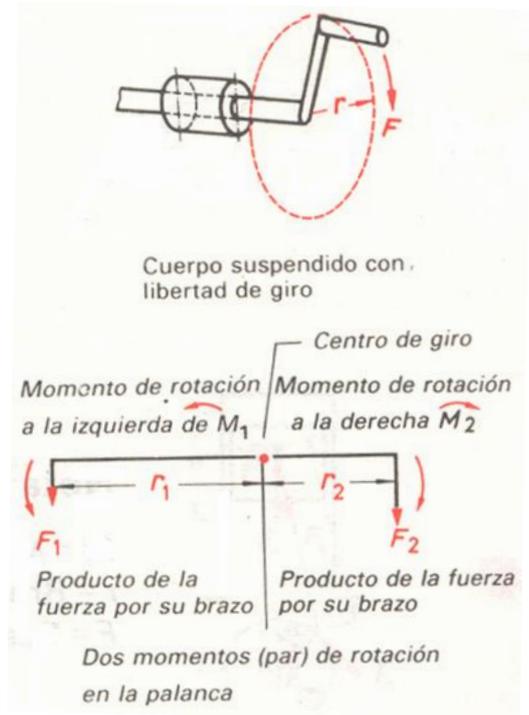
4.1. Momento de giro

La palabra momento deriva del latín momentum que significa movimiento, impulso.

En la técnica se entiende por momento la acción rotatoria de una fuerza sobre un cuerpo fijado de modo que pueda girar [momento de rotación = par]

$$M_1 = M_2$$

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$



En los motores de combustión aparece siempre un momento de rotación que se denomina par motor.

1. La presión del gas origina la fuerza del pistón F_c
2. La fuerza del pistón por la inclinación de la biela se descompone en una fuerza lateral F_N y otra F_b en el sentido de la biela.
3. En el muñón de cigüeñal según la posición de este la fuerza de la biela se descompone en una fuerza tangencial F_t y otra de compresión hacia el cigüeñal F_{rad} .

El par motor es la acción de la fuerza tangencial F_t en el brazo del cigüeñal o radio de giro, r ($r = \frac{1}{2}$ de la carrera s).

El par motor aumenta con la cilindrada total V_H y con la presión media de la combustión o presión de trabajo P_m .

La cilindrada total depende a su vez del número de cilindros i , del diámetro de estos D y de la carrera s . la presión media de la combustión o presión de trabajo depende del agrado de admisión η_F y del número de revoluciones n del motor.

DONDE:

M = momento [Nm]

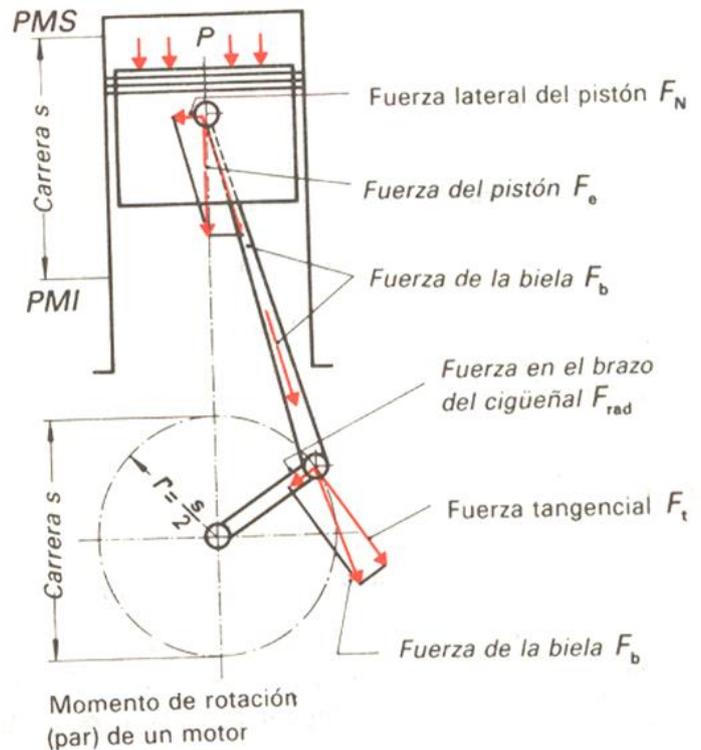
F_e = Fuerza de pistón [N]

F_b = Fuerza de biela [N]

r = brazo de palanca [m]

M_M = par [Nm]

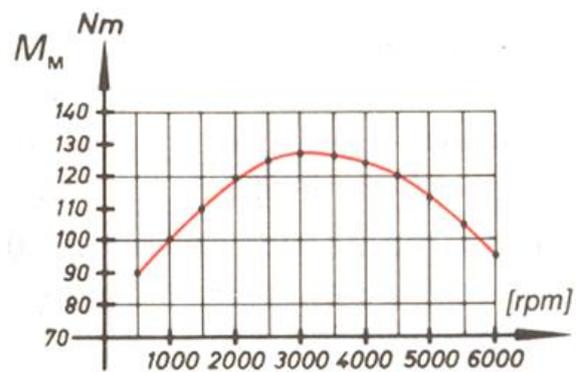
F_t = Fuerza tangencial [N]



El motor de combustión interna no tiene un par de valor constante sino que depende en cada momento del número de revoluciones. Se representa en la curva de momentos del motor. (Curva del par motor)

$M = F \cdot r$ [Nm]

$M_M = F_t \cdot r$ [Nm]



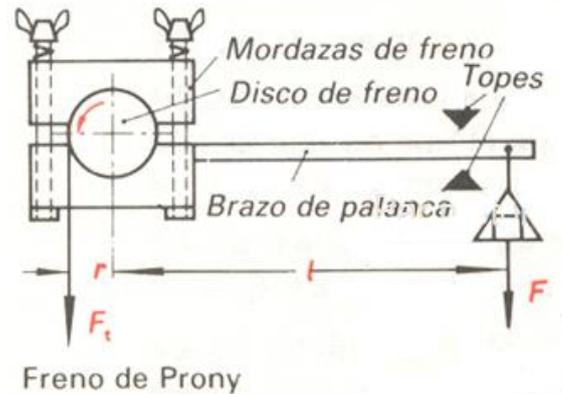
Curva del par motor

El par motor se mide con frenos de agua remolinada, con frenos de generador, frenos resistencia eléctrica o con frenos de Prony.

En el dibujo del freno Prony se tiene

Par motor = momento resistente

$$F_t \cdot r = F \cdot l$$



EJERCICIOS

- 1) ¿con que par M se aprieta la tuerca si $r=200$ mm y $F=95$ N?
- 2) Una tuerca se tiene que apretar a $67,5$ Nm. Calcular la longitud del brazo de la llave si $F=90$ N.
- 3) La fuerza tangencial media F_t de un motor Otto es de 3100 N. ¿Cuál es par motor si la carrera es de 72 mm?
- 4) Un motor diesel tiene una fuerza tangencial media $F_t = 8615$ N en el muñón del cigüeñal. El par motor $M_M = 460$ Nm. calcular el radio del cigüeñal en mm.
- 5) Para un motor de automóvil con $s=78,8$ mm, a las revoluciones dadas, se determinaron los siguientes pares.
 - a) Dibujar la curva del par motor en papel milimetrado (500 l/min = 10 mm; 10 Nm= 5 mm).
 - b) Calcular para cada M_M la correspondiente fuerza tangencial media F_t .

1000 l/min - 170 Nm

4000 l/min - 219 Nm

1500 " - 182 "

4200 " - 220 "

2000 " - 195 "

4500 " - 218 "

2500 " - 205 "

5000 " - 210 "

3000 " - 211 "

5500 " - 192 "

3500 " - 216 "

6000 " - 170 "

- 6) Un motor de automóvil tienen una biela $l = 320$ mm y una carrera $s = 70$ mm. La fuerza máxima del pistón es $F_e = 20000$ N.
 - a) Determinar gráficamente para un ángulo de biela de 46° ; F_N , F_b , F_{rad} y F_t , en N (E, 1mm =500N; E=1:2,5)
 - b) Calcular el par motor en el muñón del cigüeñal en Nm.