1kW = 1000 Nm/s = 102 kgm/s = 6120 kgm/min = 1.36 CFm = 1.34 CF (HP)1CFm = 0.736 kW y 1 CF = 0.746 kW

La potencia indicada ihp o Ni (pto.1.cap.3.) se puede mostrar como:  $Ni = ihp = Li \cdot -\frac{N}{x} - donde$ 

Ni / CFm, HP o kW 7 = ihp, - potencia indicada total del motor

Li / kgm,pie-lb, o Nm\_7,- trabajo indicado total desarrollado por -

N / min 1 7,- revoluciones por minuto de la flecha del motor (cigüe

x /- 7,número de revoluciones necesarias por cada carrera de potencia producida por un cilindro,

x = 2 para motores de 4 tiempos

x = 1 para motores de 2 tiempos

porque Li = pi x D<sub>t</sub> pues Ni = ihp = pi x D<sub>t</sub> x  $\frac{N}{X}$ 

En forma semejante se obtiene la potencia efectiva :

Ne = bhp (pto.3 cap.3) que es:

Ne = bhp =  $p_b \times D_t \times -\frac{N}{X}$  donde

pb, pi son presiones efectiva e indicada aplicadas a las ecuaciones de arriba.

En forma análoga a lo anterior, el rendimiento mecánico se puede es cribir como : o de dilidad al ab abilidad de v. (orip ab o abia

$$\eta_{m} = -\frac{Ne}{Ni}$$
 Ne =  $\eta_{m}$  . Ni usando el freno de propy so obtiono la material de la ma

usando el freno de prony se obtiene la potencia efectiva:

Ne = 
$$-\frac{2\Pi}{4500} \frac{PR}{00}$$
 N =  $\frac{PR}{716.2}$  N =  $-\frac{T}{716.2}$  N  $\frac{T}{000}$  CFm\_7

El prony tiene sus lecturas de báscula en kilogramos, P / kg / y el largo del brazo en metros, R / m\_7. Por eso el resultado se obtiene en caballos de fuerza métricos que se puede cambiar a / CF (HP) 7 o-/ kW 7.

La diferencia entre la potencia indicada Ni (ihp) y la potencia -efectiva Ne (bhp) es la potencia perdida para vencer la fricción en elementos móviles dentro del motor y se le llama la potencia de lafricción : omos otutut le ne randionat breden que dismolid le .

N = fhp (pto.2.cap.3.). saredal eb addocated abpeau stonestog ab

# 7.3. VELOCIDAD ANGULAR EN RPM DEL MOTOR.

La frecuencia de giro del motor es igual al número de revolucionesdel cigüeñal por segundo de tiempo, o más comunmente por minuto.

Se mide facilmente con un contador de vueltas o en un tubo estrobos cópico. Normalmente un motor desarrolla una velocidad de rotación hasta de 6,000 (8,000) rpm. Existen los motores Otto que desarrollan la velocidad de rotación mucho mayor, pero comunmente se la encuentra en este intervalo. Motores comparables Diesel desarrollan la velocidad mencionada menor que motores Otto.

Dependiendo de las condiciones de trabajo se puede decir que las fre cuencias de giro son las siguientes :

- 1. frecuencia de giro nominal-Nn; es el número de rpm en que el motor desarrolla la potencia nominal,
- 2. frecuencia de giro máxima-Nmax; es el número máximo de rpm dado por el fabricante en que el motor puede trabajar por un momento determinado,
- 3. frecuencia de giro mínima de marcha en vacio-Nmv; es el número mí nimo de rpm en que el motor todavía trabaja no restituyendo la po tencia efectiva Ne, se monthe de la companya de la
- 4. frecuencia de giro de la potencia máxima-N,; es el número de rpm en que el motor desarrolla la potencia efectiva máxima Nemax,
- 5. frecuencia de giro del consumo específico mínimo de combustible -N  $_{\mathbf{p}}$ ; es el número de rpm en que el motor logra el consumo específi $\underline{\mathbf{i}}$ co minimo de combustible F min.
- 6. frecuencia de giro del momento de rotación máximo-Nm; es el número de rpm en que el motor desarrolla el momento máximo de rotación Mrmax,
- 7. frecuencia de giro permisible-Np; es el número de rpm permisibles para el trabajo del motor que no se puede sobrepasar porque oca-sionaría fallas del motor,
- 8. frecuencia de giro de arranque-Nar; es el número de rpm en que el motor se arranca con ayuda de un arrancador eléctrico,

Se puede todavía encontrar otras denominaciones para frecuencias de giro del motor, pero aqui se mostraron las de mayor importancia.

#### 7.4. MOMENTO DE ROTACION DEL MOTOR.

El momento de rotación (M) del motor es igual al par de torsión PR=T determinado por el freno () prony.

El par de torsión llamado también momento de torsión o momento de gi ro es la medida de la tenjencia rotatoria de una fuerza. Se hace notar que a una velocidad relatoria dada del motor, el producto PR de-

freno de prony deberá ser constante. Cuando se alargue el brazo R,disminuye la magnitud P y cuando el brazo disminuye deberá aumentar P. Este momento es un parámetro característico del motor junto conel número de rpm y la potencia efectiva producida por el motor, que se escribe en la forma sigiente:  $Mr = \frac{Ne}{m} - \frac{1}{kNm}$  donde, Ne = bhp / kw 7,- potencia efectiva desarrollada por el motor w / rad/s\_7,- velocidad angular del cigüeñal de motor pero Ne = pb  $\star$  Dt .  $\frac{N}{\sqrt{X}} - \frac{1}{\sqrt{KW_{-}}} y \omega = 2\pi \cdot N / \frac{1}{\sqrt{M}} - \frac{1}{\sqrt{M}} = 2\pi \cdot N / \frac{1}{\sqrt{$  $Mr = \underbrace{pb}_{2\Pi \cdot N} \underbrace{Dt}_{x - \overline{X}} = \underbrace{pb}_{2\overline{\Pi} \cdot \overline{X}} \underbrace{Dt}_{x - \overline{Z}\overline{\Pi} \cdot \overline{X}} - \underbrace{pb}_{x - \overline{Z}\overline{\Pi} \cdot \overline{X}} \underbrace{-k \cdot Nm}_{7}$ 

$$Mr = pb \cdot -\frac{Dt}{2} \overline{I} \overline{x} - \sqrt{k \cdot Nm} \overline{/}$$

Para un motor determinado la capacidad cúbica total del motor (Dt) es conocida y el número x también ( x=1 para motores de 2 tiempos yx=2, para motores de 4 tiempos). Nombrando al componente Dt/2IIx=c/m3\_7 como un valor constante del motor se obtiene el momento de ro 4. Fracuencia de quiro de la potencia maximaent es el admero.: noissa

El momento de rotación del motor (Mr) es directamente proporcional a la presión media efectiva (pb).

Sabemos de la primer ecuación de este capítulo que Mr= Ne/w donde -- $\omega = 2\pi N$ , y se puede escribir también :  $Mr = -\frac{Ne}{2\pi N} = 0.16 - \frac{Ne}{N}$ 

El momento de rotación (Mr) es directamente proporcional a la potencia efectiva Ne = bhp (que depende de la presión efectiva pb) e inver samente proporcional al número de rpm del motor. Al disminuir N /rpm/ aumenta Mr /kNm7. Normalmente se distingue:

- 1. momento de rotación nominal Mrn; es el momento desarrollado por el motor a la potencia nominal con la frecuencia de revoluciones no-minal.
- 2. momento de rotación máximo Mrmax; es el momento máximo desarrollado por el motor en un estado fijo de ajuste, preparado para desarro--Test llar la potencia nominal. A deser Lab um) notostor ab otnemom 19
- 3. momento de rotación de arranque Mrar; es el momento mayor del motor para causar la frecuencia de revoluciones de arranque en un estado térmico dado de ese motor.

# 7.5. RENDIMIENTOS DEL MOTOR.

En las evaluaciones de varios tipos de motores de sus cambios ener géticos durante el trabajo, se utilizan los coeficientes de rendimiento que pueden ser :

- rendimiento térmico (teórico) η<sub>t</sub>
- rendimiento indicado n;
- grado de llenado del diagrama de indicador η,
- rendimiento mecánico  $\eta_m$
- rendimiento efectivo  $\eta_e$

### 7.5.1. RENDIMIENTO TERMICO.

Según con el pto.8. cap.3, se puede decir que el rendimiento térmi co llamado también rendimiento teórico es una relación entre el ca lor convertido en trabajo y el calor introducido al motor, que se-

$$\eta_{t} = -\frac{Q1}{Q_{1}} - \frac{Q2}{Q_{1}} = -\frac{\Delta Q}{Q_{1}}$$

Q, / kcal/kg 7 o / Btu/lb 7, - calor añadido (introducido) al motor Q, /kcal/kg/o /Btu/lb/,- rechazo del calor del motor  $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ , - calor perdido por el motor.

En los capítulos 4.1-4.3 fué mostrado que el rendimiento térmico es:

para motores Otto : 
$$\eta_t = 1 - r_v^{1-k} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$$

para motores Diesel :  $\eta_t = 1 - r_v^{1-k} \cdot \frac{\varphi^k - 1}{k(\varphi^{-1})} = 1 - \frac{\varphi^k - 1}{r_v^{k-1}(\varphi^{-1})k}$ 

 $k = c_p/c_v$ , - exponente isoentrópico (relación de calores específicos)  $\psi = v_1/v_3$ , - grado de crecimiento de volúmenes.

Finalmente se puede decir que el rendimiento térmico (teórico) es la medida de la pérdida en el calor evacuado por los gases de escape.

#### 7.5.2. RENDIMIENTO INDICADO.

El rendimiento indicado  $(\eta_4)$  se define como la relación entre el calor convertido en trabajo indicado Li, en el ciclo real del trabajo, al calor introducido a este ciclo del motor :

$$\eta_i = \frac{Qi}{Q1 - Qc}$$
, cuando Qc = 0 es  $\eta_i = -\frac{Qi}{Q_1}$ 

Qi / kcal / o / Btu-lb /, - calor indicado convertido en trabajo indicado Li.

Qc / kcal/kg 7 o / Btu/lb 7,- calor perdido por combustión incompleta.

Ql / kcal/kg /o / Btu/lb /, - calor añadido (inducido) al motor.

En caso de combustión completa, las pérdidas de Qc son cero, Qc=0, y el divisor en la ecuación de  $\eta_i$  es igual a Q1.

El rendimiento indicado  $(\eta_i)$  determina las pérdidas que tienen lugar en el cilindro del motor, durante el ciclo real del trabajo. Estas - pérdidas son causadas por las diferencias que existen entre las propiedades del gas perfecto y el real, durante la combustión incompleta, en la refrigeración y estrangulación del fluído, durante el cambio de carga nueva de combustible, etc.

## 7.5.3. GRADO DE LLENADO DEL DIAGRAMA DEL INDICADOR.

Este grado  $(\eta_r)$  se define como la relación entre el área del diagrama real del indicador al área del diagrama ideal del indicador; quees un rendimiento de los ciclos reales de trabajo de los motores y a
veces se le llama factor de mérito del ciclo real. Se escribe :

 $\eta_{r} = -\frac{s_{r}}{s_{i}} - \text{ pero también } \eta_{r} = \frac{1}{Q_{1}} - \frac{Q_{i}}{Q_{2}} - \frac{Q_{i}}{Q_{1}} - \frac{Q_{i}}{Q_{2}} - \frac{Q_{i}}{Q_{1}} - \frac{Q_{i}}{Q_{1}}$ 

Sr / mm<sup>2</sup> 7 o / pul<sup>2</sup> 7, - área del diagrama real del indicador

Si /mm² 7 o / pul² 7, - área del diagrama ideal del indicador

Qi / kcal/kg 7 o /Btu/lb7, - calor indicado convertido en trabajo indicado.

Q1 / kcal/kg / o / Btu/lb /, - calor inducido al motor

Q2 / kcal/kg 7 o / Btu/lb 7, - rechazo de calor del motor

 $\eta_i / -7$ ,- rendimiento indicado

 $\eta_t / - /$ , - rendimiento térmico (teórico).

Este factor de mérito del ciclo real  $(\eta_r)$  evalúa numéricamente la di vergencia entre el ciclo real y el ideal, normalmente para las condiciones nominales es  $\eta_r$  = 0.8-0.9.

### 7.5.4. RENDIMIENTO MECANICO.

Rendimiento mecánico  $(\eta_m)$  es la relación entre el calor efectivo -- (transformado en trabajo mecánico) Qe y el calor indicado (transformado en el trabajo indicado) Qi, entonces :

 $\eta_{\text{m}} = \frac{Qe}{Qi} = \frac{Le}{Li} = \frac{Ne}{Ni} = \frac{bhp}{ihp} = \frac{pb}{pi}$  (vease pto.4 y 6, cap.3.)

Sobre el valor del rendimiento mecánico  $(\eta_m)$  influyen :

### 1020123334

- 1. frecuencia de revoluciones (rpm) del motor.
- 2. presión media efectiva (ph) de combustión.
- 3. relación de compresión (r, ) en el motor.

Esas relaciones de dependencias se muestran en la fig.25.

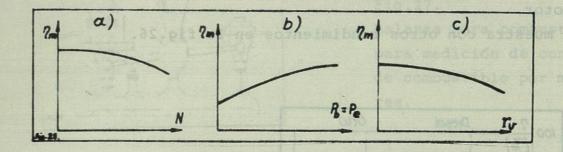


Fig. 25. Rendimiento mecánico  $(\eta_m)$  en función de la :

- a) frecuencia de giro (revoluciones)
- b) presión media efectiva (p<sub>b</sub>) y
- c) relación de compresión  $(r_v)$ .

Para determinar el rendimiento mecánico se investiga el motor concualquier tipo de freno obteniendo los diagramas real e ideal delindicador o los trabajos (potencias) efectivos e indicados; usando la ecuación para  $(\eta_m)$  de este capítulo se obtiene los valores delrendimiento mecánico.

El resultado para motores de velocidad pequeña es relativamente -exacto pero los motores rápidos pueden contener en si un error muy
significativo. La causa de lo anterior es la inexactitud en la medi
ción del trabajo que se pierde en vencer la fricción de los elemen
tos móviles en los motores rápidos.

En la marcha en vacío el rendimiento mecánico es igual a cero porque Ne=0, esto es  $\eta_m$  = Ne/Ni=0.

#### 7.5.5. RENDIMIENTO EFECTIVO.

El rendimiento efectivo ( $\eta_e$ ) se define como la relación entre el -calor efectivo Qe (transformado en trabajo mecánico) y el calor in ducido al ciclo real de trabajo del motor, asi :

$$\eta_e = -\frac{Qe}{Q\overline{1}-Q\overline{c}}$$
; cuando  $Qc = 0$ , es  $\eta_e = -\frac{Qe}{Q\overline{1}}$ 

Qe / kcal/kg 7 o / Btu/lb 7, - calor efectivo transformado en traba jo mecánico.

Qc / kcal/kg 7 o / Btu/lb 7,- calor perdido por combustión incompleta del combustible.

Q1 /kcal/kg\_7 o /Btu/lb\_7,- calor añadido (inducido) al motor. En caso de combustión completa y total Qc=0 y Q<sub>1</sub>-Qc=Q<sub>1</sub>, y también : Ne =  $-\frac{Qe}{Q1-Qc} = -\frac{Qi}{Q1-Qc} \cdot -\frac{Qe}{Qi} = \eta_i \cdot \eta_m$  El rendimiento efectivo  $(\eta_e)$  determina todas las pérdidas indicadas y mecánicas en el motor y representa el factor de rendimiento realdel motor.

Se le muestra con otros rendimientos en la fig.26.

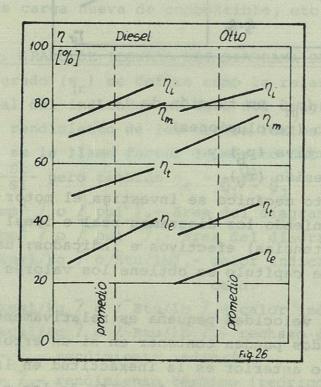


Fig. 26.

Valores generales de todos
los rendimientos del motor
para motores ECH (Otto) ymotores EC (Diesel).

## 7.6. MEDICION DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

Un método aceptado para medir la cantidad de combustible gastado - por un motor, es pesarlo mediante un equipo como el que se muestra en la fig.27.

La balanza se ajusta hasta que el depósito de combustible pesa ligeramente más que las pesas. Pasado un tiempo t que depende de laduración de la prueba, se ajusta nuevamente la báscula quitándolepesas hasta que el combustible resulte más pesado. La diferencia en tre las dos pesadas es el peso de combustible consumido en el tiempo t.

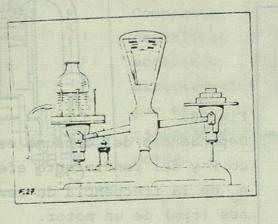


Fig.27.
Balanza para combustible para medición de consumo de combustible por motores.

El consumo de combustible se determina en : /kg/s\_7, /lb/s\_7, /lb/h\_7 o /kg/hora\_7.

El consumo específico de combustible determina el consumo de masa - de combustible por unidad de potencia y unidad de tiempo, pues es:  $F = \frac{m}{Ne} - \frac{kg}{t} - \frac{kg}{h} - \frac{7}{h} - \frac{1}{h} - \frac{1}{h}$ 

Ne / CFm; HP; kW 7,- potencia efectiva del motor,

t / seg;hora 7,- unidad de tiempo, segundo u hora (raramente-minuto).

El consumo específico se puede expresar también como:

F = \frac{1}{Ne} \frac{

La dependencia entre F y η<sub>e</sub> en función de N se muestra en la fig.28.
Del diagrama se ve, que las mejores condiciones de trabajo para motores de combustión interna se logran para un número de revoluciones - del 65 al 75 % de rpm máximas que corresponde a un 70 a 85 % de la - potencia nominal Nnom. del motor.

\* de 1 Kcal se obtiene 4,186.8 J de trabajo; 1 Kcal~4,186.6 J≈4.2kJ ≈

\* de 1 Kcal se obtiene 4,186.8 J de trabajo; 1 Kcal~4,186.6 J = 4.2KJ = 4.2 kWs = 5.63 HP.s = 5.71 CFm.s, y 1Btu~1.055J = 1.055J= 1.055kWs=1.41 HP.s=1.43 CFm.s, 1Kcal=3.97 Btu y 1Kcal/kg=1.80 Btu/lb.