



UFRRJ

Estimativa da potência dos motores de combustão interna

IT 154- MOTORES E TRATORES

27/04/2010

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Carlos Alberto Alves Varela

Introdução

A potência representa a taxa de transformação da energia ao longo do tempo. Nos motores de combustão interna a energia térmica é proveniente da reação de combustíveis com o ar atmosférico. Nem toda a energia térmica gerada na combustão é transformada em energia mecânica pelos motores térmicos. Assim, para fins de avaliação desses motores, temos três tipos de potências: teórica, indicada e efetiva. A potência deve ser expressa na unidade do Sistema Internacional, isto é, em W ou seus múltiplos. A Organização Internacional de Normalização (ISO) publicou a partir de 1955 uma série de normas internacionais sobre as grandezas e unidades. A ISO utiliza as sete unidades de base do Sistema Internacional de Unidades: 1) comprimento (metro, m); 2) massa (quilograma, kg); 3) tempo (segundo, s); 4) intensidade de corrente elétrica (ampère, A); 5) temperatura termodinâmica (K); 6) quantidade de matéria (mol, mol) e 7) intensidade luminosa (candela, cd). Quando uma unidade derivada, é constituída pela divisão de uma unidade por outra, pode-se utilizar a barra inclinada (/), o traço horizontal, ou potências negativas (INMETRO, 2007).

Exemplo: m/s; m·s⁻¹

hp (horse power)	76 kgf.m.s ⁻¹
cv (cavalo vapor)	75 kgf.m.s ⁻¹
cv	0,73551 kW
hp	0,74532 hp

Potência teórica

É a potência estimada com base em propriedades físicas e consumo de combustível. Essa potência considera que toda energia térmica proveniente da combustão é convertida em energia mecânica (Equação 1).

$$P_T = p_c \cdot q \cdot d \quad (1)$$

em que,

- P_T = potência teórica;
- p_c = poder calorífico do combustível, kcal.kg⁻¹;
- q = consumo de combustível, L.h⁻¹;
- d = densidade do combustível, kg.L⁻¹;

Combustível	Densidade (kg/L)	Poder Calorífico Superior		Relação Estequiométrica Ar/Combustível
		(kJ/kg)	kCal/kg	
Butano	0,580	49500	11831	15,50
Propano	0,509	50300	12022	15,70
Gasolina Comum	0,735	47600	11377	15,20
Diesel N. 1	0,823	45700	10923	15,00
Diesel N. 2	0,834	45500	10875	15,00
Álcool Metílico	0,792	22700	5426	6,49
Álcool Etílico	0,785	29700	7099	9,03
Álcool Butílico	0,805	36100	8628	11,20

Quadro 1- Algumas características dos principais combustíveis.

Potência indicada

A potência indicada é estimada a partir da pressão na expansão, características dimensionais e rotação da árvore de manivelas do motor. Após a combustão ocorre aumento da temperatura e pressão. A pressão desloca o pistão do PMS para o PMI havendo realização de trabalho mecânico. De maneira geral, a potência indicada pode ser estimada por meio da Equação 2.

$$P_I = \frac{F \cdot L}{t} = \frac{P \cdot A \cdot L \cdot n}{t} = P \times V_{cil} \cdot \frac{1}{t}$$

$$P_I = P \times V_{cil} \cdot \frac{1}{t} \quad (2)$$

em que,

- P_I = potência indicada, W;
- F = força na expansão, N;
- L = curso do pistão, m;
- t = tempo para realizar o ciclo, s;
- P = pressão na expansão, Pa;
- A = área do cilindro, m^2 ;
- V_{cil} = volume do cilindro, m^3 ;
- n = número de cilindros.

A potência indicada depende do ciclo do motor, isto é, se o motor é dois tempos (2T) ou quatro tempos (4T).

Motores 2T

Nestes motores são necessários dois cursos para realizar o ciclo, e a potência indicada é estimada conforme a Equação 3.

$$t_{2T} = \frac{2 \cdot L}{VLP} \therefore VLP = 2 \cdot L \cdot N \therefore t_{2T} = \frac{2 \cdot L}{2 \cdot L \cdot N} = \frac{1}{N}$$
$$t_{2T} = \frac{1}{N}$$

t_{2T} = tempo para realizar o ciclo em motores 2T, s;

$$P_{I2T} = P \cdot V_{cil} \cdot N \cdot n \quad (3)$$

em que,

- P_I = potência indicada para motores 2T, W;
- P = pressão na expansão, Pa;
- V_{cil} = volume do cilindro, m³;
- N = rotação do motor, rps;
- n = número de cilindros do motor.

Motores 4T

Nestes motores são necessários quatro cursos para realizar o ciclo, a potência indicada é estimada conforme Equação 4.

$$t_{4T} = \frac{4 \cdot L}{VLP} \therefore VLP = 2 \cdot L \cdot N \therefore t_{4T} = \frac{4 \cdot L}{2 \cdot L \cdot N} = \frac{2}{N}$$
$$t_{4T} = \frac{2}{N}$$

$$P_{I4T} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot V_{cil} \cdot N \cdot n \quad (4)$$

Potência efetiva

A potência efetiva é estimada em função do torque e da rotação no volante do motor. Esses parâmetros são obtidos, segundo normas da ABNT, em equipamentos denominados dinamômetros. A estimativa da potência efetiva parte do princípio da energia mecânica resultante de uma força tangencial a circunferência de raio R (Figura 1). O ponto P1 gira em torno de P0 com velocidade angular constante Ω .

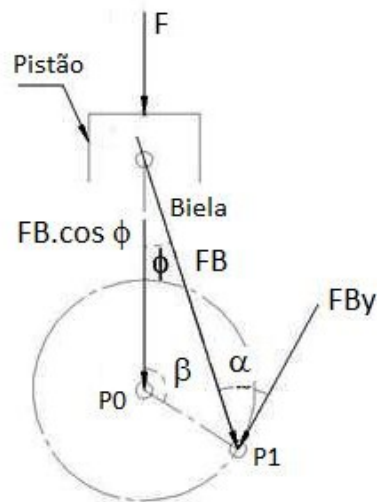


Figura 1- Diagramada força tangencial F_{By} aplicada a uma distância R do ponto $P0$ (centro do eixo da manivela). Adaptado de (Schmidt, et al., 2003) página 562.

A força atuante na haste da biela é obtida pela Equação 6.

$$F = F_B \cdot \cos\phi$$

$$F_B = \frac{F}{\cos\phi} = \frac{P \cdot A}{\cos\phi}$$

$$F_B = \frac{P \cdot A}{\cos\phi} \quad (6)$$

em que,

- F_B = força na haste da biela, N;
- P = pressão na expansão, Pa;
- ϕ = ângulo entre haste da biela e vertical, graus.

O torque no eixo da árvore de manivelas é obtido pela Equação 7.

$$TO = F_{By} \cdot R$$

$$F_{By} = F_B \cdot \cos\alpha$$

$$TO = F_B \cdot \cos\alpha \cdot R$$

$$\alpha = 90 - 180 + \phi + \beta = \phi + \beta - 90$$

Considerando-se que no início da fase de expansão o pistão está em 0° do PMS, então o ângulo β é igual a 90° e temos que:

$$\alpha = \phi + \beta - 90 = \phi + 90 - 90$$

$$\alpha = \phi$$

O torque do motor ou torque no eixo da árvore de manivelas é obtido pela Equação 7.

$$TO = F_B \cdot \cos\phi \cdot R \quad (7)$$

TO = torque no eixo da árvore de manivelas, N.m;
 F_{By} = força tangencial, N;
 R = raio da circunferência, m.

A potência efetiva pode ser estimada em função da força tangencial F_{By} e da velocidade angular Ω do ponto P_1 (Equação 8).

$$P_E = F_{By} \cdot \Omega$$

$$P_E = F_{By} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N$$

$$P_E = \frac{TO}{R} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N$$

$$P_E = 2 \cdot \pi \cdot TO \cdot N \quad (8)$$

P_E = potência efetiva, W;
 TO = torque na árvore de manivelas (torque do motor), N.m;
 N = rotação na árvore de manivelas (rotação do motor), rps.

Exemplo

Calcular a força na haste da biela e o torque no eixo da árvore de manivelas do mecanismo pistão-biela-manivela ilustrado na Figura 1. Dados: pressão na expansão = 2 N/mm²; diâmetro do cilindro 100 mm; $\phi = 20^\circ$; $\beta = 120^\circ$; $R = 75 \text{ mm}$.

$$F_B = \frac{P \cdot A}{\cos\phi} \quad (6)$$

$$F_B = \frac{2}{\cos 20^\circ} \cdot \frac{\pi(100)^2}{4}$$

$$F_B = 16716 \text{ N}$$

$$TO = F_B \cdot \cos(90 - 180 + \phi + \beta) \cdot R \quad (7)$$

$$TO = 16716 \cdot \cos(90 - 180 + 20 + 120) \cdot 75 \times 10^{-3}$$

$$TO = 16716 \cdot \cos 50 \cdot 75 \times 10^{-3}$$

$$TO = 805,86 \text{ N.m}$$

Rendimentos de motores térmicos

Os rendimentos dos motores térmicos são usados como parâmetros comparativos entre motores na avaliação de perdas caloríficas e mecânicas. São coeficientes que expressão a eficiência dos motores térmicos na conversão da energia proveniente da combustão.

Rendimento térmico

O rendimento térmico representa o percentual de energia térmica que está sendo convertido em energia mecânica nos pistões. É calculado pela seguinte equação:

$$RT = \frac{P_I}{P_T}$$

em que,

RT = rendimento térmico;

P_I = potência indicada;

P_T = potência teórica.

Rendimento mecânico

O rendimento mecânico representa o percentual de energia mecânica nos pistões que está sendo convertido em energia mecânica no volante motor. É calculado pela seguinte equação:

$$RM = \frac{P_E}{P_I}$$

em que,

RM = rendimento mecânico;

P_E = potência efetiva;

P_I = potência indicada.

Rendimento termo-mecânico

O rendimento termo-mecânico representa o percentual de energia térmica que está sendo convertido em energia mecânica no volante motor. É calculado pela seguinte equação:

$$RTM = \frac{P_E}{P_T}$$

em que,

RTM = rendimento mecânico;
P_E = potência efetiva;
P_T = potência teórica.

Curvas características dos motores

As curvas características são utilizadas para analisar o comportamento do torque, potência e consumo de combustível em função da rotação da árvore de manivelas dos motores. A Figuras 1 ilustra a variação do torque (N.m), potência (kW) e consumo específico de combustível (g.kWh⁻¹) de dois motores em função da rotação da árvores de manivelas (rpm).

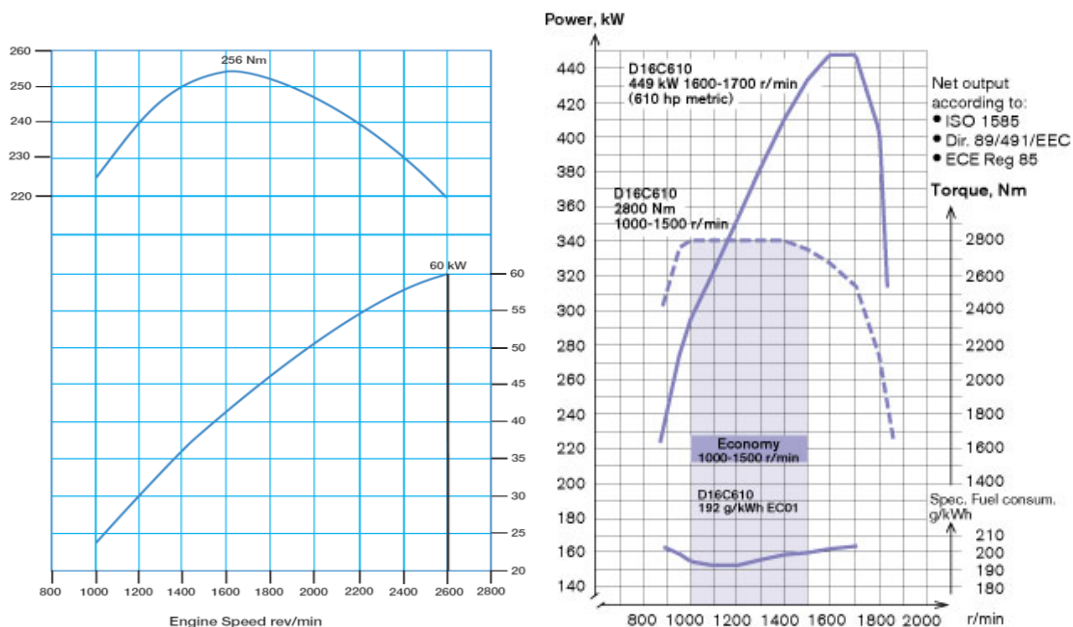


Figura 1. Variação do torque, potência e consumo específico em função da rotação do motor.

Reserva de torque de motores

A reserva de torque é a diferença entre o torque máximo do motor e o torque correspondente a potência máxima.

$$\Delta TO = TO - TOP$$

em que,

ΔTO = reserva de torque do motor, N.m;

TO = torque máximo do motor (torque do motor);

TOP = torque correspondente a potência máxima do motor (torque mínimo).

Referências bibliográficas

INMETRO. 2007. *Sistema Internacional de Unidades-SI*. 8a Edição (revisada). Rio de Janeiro : Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2007. 114p. ISBN 85-87-87090-85-2.

Schmidt, Richard J. e Boresi, Arthur P. 2003. *Estática*. São Paulo : Pioneira Thomson Learning Ltda, 2003. p. 674. ISBN 85-22-10287-2.