

## CAPÍTULO 11 - POTÊNCIA E RENDIMENTO

A energia mecânica desenvolvida por um motor é medida com precisão num banco de testes. É igualmente possível calcular esta energia com uma certa aproximação tendo em conta as particularidades do motor considerado. Em ambos os casos, determina-se a quantidade de trabalho mecânico efetuada em um dado tempo. Do resultado obtido, deduz-se a potência.

De início, recordemos que o trabalho mecânico é sempre composto dos dois fatores seguintes:

- 1) uma força que se mede em newtons (N) e que atua por impulso ou por tração;
- 2) um deslocamento do ponto de ação desta força. Este deslocamento é medido em metros na direção em que a força provoca o movimento.

O produto dos valores destas duas grandezas fornece a quantidade de trabalho efetuado em joules. O joule (J) é a unidade do trabalho mecânico:  $N \times m = J$  (antigamente  $kg \times m = kgm$ ).

10 J representa o trabalho efetuado por uma força de 10 N, produzindo um deslocamento de 1 m na direção em que a força atua. Isso pode ser o trabalho efetuado por uma força de 20 N, produzindo um deslocamento de 2 m.

Calculemos, a título de exemplo, o trabalho fornecido pelo pistão de um motor que recebe durante o seu curso motriz um impulso médio de 1800 N. Admitindo um curso do pistão de 80 mm (0,08m), o trabalho efetuado a cada explosão será de:

$$1800 \text{ N} \times 0,08 \text{ m} = 144 \text{ J}$$

Este impulso de 1800 N, atuando sobre uma distância de 0,08 m, produz um trabalho equivalente a um impulso de 144 N, atuando sobre uma distância de 1 m.

Num motor, o impulso que atua sobre o pistão é determinado pela pressão dos gases durante a explosão e, depois da explosão, durante a expansão. Durante a explosão, a pressão eleva-se até 40 bar, depois baixa rapidamente no início e mais lentamente em seguida, até o fim do curso do pistão. No momento da abertura de escape, a pressão no cilindro não passa de alguns bar. O impulso recebido pelo pistão é, portanto, variável, e o trabalho fornecido varia a cada posição do pistão. O cálculo de trabalho que um pistão dá a cada milímetro do seu curso é demasiado longo para efetuar-se na prática. Medem-se todas as variações de pressão por meio do indicador de Watt, e o diagrama fornecido por este aparelho permite estabelecer uma pressão média. É a pressão média indicada que permite calcular o trabalho real fornecido pelo pistão durante o seu curso motriz.

Mas uma parte do trabalho fornecido pelo pistão é absorvida pelos atritos internos do motor, pelos tempos mortos, pelos efeitos de inércia etc. O trabalho efetivo disponível à saída do virabrequim é, portanto, mais fraco que o trabalho real fornecido pelo pistão.

Para calcular o trabalho efetivo disponível no virabrequim, adota-se uma pressão média mais fraca que a pressão média indicada. É a pressão média efetiva, que varia conforme os motores, o número de rotações e a relação volumétrica.

A pressão média efetiva  $P_m$  permite, então, calcular o trabalho efetivo fornecido pelo motor. Este trabalho é tanto maior quanto maior é a superfície  $S$  do pistão, quanto mais longo é o curso  $s$  e quanto mais elevado é o número de cilindros.

Exemplo: Que trabalho fornece, a cada curso motriz, um pistão de 56,5 mm (5,65 cm) de diâmetro, efetuando um curso de 70 mm (0,07 m) sob uma pressão média de 8 bar (kg/cm<sup>2</sup>)?

Superfície do pistão:  $= \Pi \cdot d^2/4$

Impulso =  $\Pi \cdot d^2 \cdot p_m/4$

Trabalho =  $\Pi \cdot d^2 \cdot p_m \cdot s/4 = 3,14 \cdot 5,65^2 \cdot 8 \cdot 0,07/4 = 140$  J em antigas unidades de trabalho: 14 kgm.

## POTÊNCIA DOS MOTORES

**POTÊNCIA EFETIVA.** A potência de um motor é determinada pela quantidade de trabalho que aquele pode fornecer em um segundo, isto é, pelo número de joules (J).

A unidade de potência atual é o quilowatt (kW) ou o watt para os motores pequenos.

Para calcular a potência de um motor, basta calcular a quantidade de trabalho que este é capaz de fornecer em 1 segundo. Esta quantidade de trabalho obtida em joules por segundo será transformada em W ou em kW, conforme a equivalência destas unidades.

$$1 \text{ J/s} = 1 \text{ W};$$

$$1000 \text{ J/s} = 1 \text{ kW};$$

$$1000 \text{ J/s} = 1,36 \text{ C.V. nas antigas unidades ou } 1 \text{ C.V.} = 736 \text{ J/s.}$$

Exemplo de cálculo da potência efetiva de um motor monocilíndrico 80 x 90 girando a 4200 rpm com uma pressão média de 9,5 bar (impulso 95 N por cm<sup>2</sup>):

$$\text{trabalho de uma explosão} = 3,14 \cdot 8^2 \cdot 9,5 \cdot 0,09/4 = 430 \text{ J};$$

$$\text{trabalho por segundo} = 430 \times 4200/60 \times 2 = 15050 \text{ J/s.}$$

(2) denominadores para motor a 4 tempos, 1 explosão a cada 2 rotações

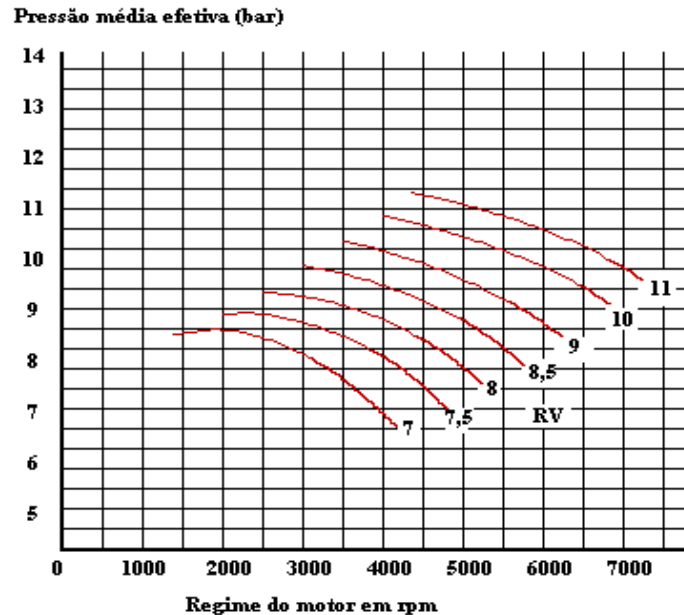
$$\text{Potência} = 15050/1000 = 15,03 \text{ kW.}$$

Praticamente, a potência efetiva de um motor em novas unidades (kW) tem como valor os três quartos da potência em C.V.. Um motor de 80 C.V. tem uma potência de 60 kW.

Podemos resumir todas as operações do cálculo da potência efetiva do motor em uma só fórmula:

$$P_e = \Pi \cdot d^2 \cdot p_m \cdot s \cdot n \cdot l \cdot 10/4 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 1000$$

onde d designa o diâmetro do cilindro em cm, P<sub>m</sub> a pressão média em bar, s o curso do pistão em m, n o regime do motor em rotações por minuto, l o número de cilindros e  $\Pi = 3,14$ . O numerador 10 transforma a pressão média dada em bar, de modo a efetuar um impulso médio em newtons por cm<sup>2</sup>; o denominador 1000 permite obter o resultado em kW.



### Testes do freio

A potência efetiva desenvolvida por um motor mede-se por meio de um freio. O freio compreende sempre duas partes essenciais:

uma parte móvel ligada ao motor e acionada por este último;

uma parte fixa provida de um dispositivo de frenagem que atua diretamente sobre a parte móvel. Um sistema de regulagem permite modificar a eficácia da frenagem.

A parte fixa é montada sobre um eixo de oscilação (braço de alavanca de um metro). É estabilizada por uma carga variável por meio de contrapeso e de uma mola tarada.

Durante a frenagem, a parte fixa tende a ser acionada pela parte móvel. Aquela levanta o contrapeso e atua sobre a mola até à obtenção de uma posição de equilíbrio. Conhecendo, então, o valor dos contrapesos em kg, conhece-se igualmente o esforço desenvolvido pelo motor à periferia do dispositivo de frenagem. Este esforço tangencial denomina-se torque motor.

### Tipos de freios para teste de motores

O **freio de Prony** é formado por um simples tambor metálico frenado por sapatas de madeira. A sua regulagem é delicada; varia constantemente, e o aquecimento das sapatas necessita de uma irrigação contínua e desagradável para os operadores. Este freio é utilizado apenas para testes de fraca potência.

O **freio Froude** é um freio hidráulico. É composto por uma turbina que gira num cárter vedado, munido de chicanas internas, e ligado aos contrapesos. Sob o efeito da turbina, a água atua sobre o cárter e tende a acioná-lo.

Varia-se a eficácia da frenagem modificando as possibilidades de reação da água sobre as chicanas do cárter.

O freio Froude não atua nos regimes de marcha reduzida. Permite, portanto, parar o motor, e pô-lo novamente em marcha, conservando sempre uma determinada posição da frenagem.

O **freio elétrico** é constituído por um simples dínamo fixado a uma estrutura rígida. Mede-se a tensão e o débito da corrente produzida; deduz-se o número de watts, e, em seguida, tem-se a potência em kW. Mas o rendimento do dínamo não é constante. Varia conforme o número de rotações por minuto e o número de watts produzidos. Cada medida deve ser corrigida por um fator de rendimento diferente que se marca sobre um gráfico dado pelo fabricante do dínamo.

As variações de frenagem são obtidas modificando a corrente de excitação por meio de um reostato.

O **freio eletrodinamométrico** é igualmente constituído por um dínamo.

Mas o estator deste dínamo é montado sobre um eixo oscilante, e é ligado igualmente a uma carga de contrapeso completada por um dinamômetro.

A reação magnética do induzido tende a acionar o estator; o esforço de acionamento (torque) é medido em quilos pelos contrapesos e pelo dinamômetro.

O rendimento do dínamo não entra em conta.

Modifica-se a eficácia da frenagem por uma mudança da corrente de excitação como no caso precedente.

Este tipo de freio é recente, e é de manobra simples e precisa. Pode, por outro lado, funcionar como motor de lançamento e de acionamento para a rodagem do motor a frio. Permite medir as resistências internas do motor funcionando ociosamente, e dando, assim, indicações exatas sobre as condições de funcionamento da superfícies de atrito.

O **freio a corrente de Foucault** é constituído por dois discos de função girando na frente das extremidades de potentes eletroímãs. Estes últimos são solidários a uma estrutura móvel cujo deslocamento é controlado por um dispositivo de mola tarada. O motor aciona os dois discos, excitando os eletroímãs, obtém-se um fluxo magnético fixo, que cria nos discos rotação importantes correntes elétricas (correntes de Foucault). A reação destas correntes tem por efeito frear a rotação dos discos, provocando uma tração nos eletroímãs. Variando a importância da excitação, varia-se a eficácia da frenagem. O regime do motor e o esforço (torque) registrado pela mola tarada permitirão calcular a potência fornecida pelo motor. Nos freios utilizados atualmente, o torque desenvolvido pelo motor é indicado em antigas unidades isto é, em mkg. Basta multiplicar o valor por 10 para obter-se o torque motor em novas unidades, metro Newton, mN.

## CURVAS DE POTÊNCIA

Qualquer que seja o tipo de freio empregado, o motor é sempre testado com o acelerador aberto, a potência máxima. Regulando a eficácia da frenagem, pode-se diminuir a velocidade de rotação do motor até o travar completamente ou deixá-lo embalar-se ociosamente.

Para conhecer as características exatas de um motor, mede-se a sua potência em diversos regimes de rotação. Começa-se pelos baixos regimes (1000 rpm) e sobe-se de 250 em 250 rotações, por exemplo, até ao regime máximo, a partir do qual a potência começa a diminuir.

Os resultados obtidos permitem traçar a curva de potência do motor. Traça-se geralmente também a curva do torque. O torque é indicado em mN. É o esforço desenvolvido pelo

motor na circunferência de um círculo de 1 m de raio cujo centro de rotação se situa sobre o eixo do virabrequim.

O torque tem por valor:

Torque =  $mN \cdot n / 10 \times 1000$  onde o torque =  $kW \times 10000 / n$  em mN.

Atualmente, tende-se a dar mais importância ao torque motor que à potência. De fato, o torque motor depende diretamente do impulso transmitido pelos pistões ao virabrequim. Ele informa, portanto, de modo preciso, sobre o enchimento dos cilindros e sobre a força explosiva da carga aspirada.

Constata-se que esta carga é máxima para um regime relativamente baixo e que ela diminui com o aumento do regime. Ora, o motor será tanto mais capaz de subir as rampas em marcha direta (relação de transmissão 1:1) quanto mais inclinada para a direita for a curva de seu torque. De fato, como em rampa a velocidade diminui tal como o regime do motor, o torque motor vai aumentar.

A curva de potência é o resultado do torque motor em mN (mkg) e da velocidade em rpm. Constata-se que ela atinge o seu máximo a um regime relativamente elevado.

Nos regimes baixos, a potência desenvolvida é relativamente fraca; o torque é importante, mas a velocidade em rpm é fraca.

Nos regimes médios, o torque diminui ligeiramente, mas a velocidade aumentou fortemente; a potência é nitidamente mais elevada.

Nos regimes de potência máxima, a curva torna-se horizontal. O torque diminui fortemente, e esta diminuição é completamente compensada pelo aumento do regime. A potência estabiliza-se.

A um regime mais elevado, a diminuição do torque é tão importante que o aumento da velocidade não a compensa mais. A potência diminui.

O regime de potência máxima é considerado regime normal do motor.

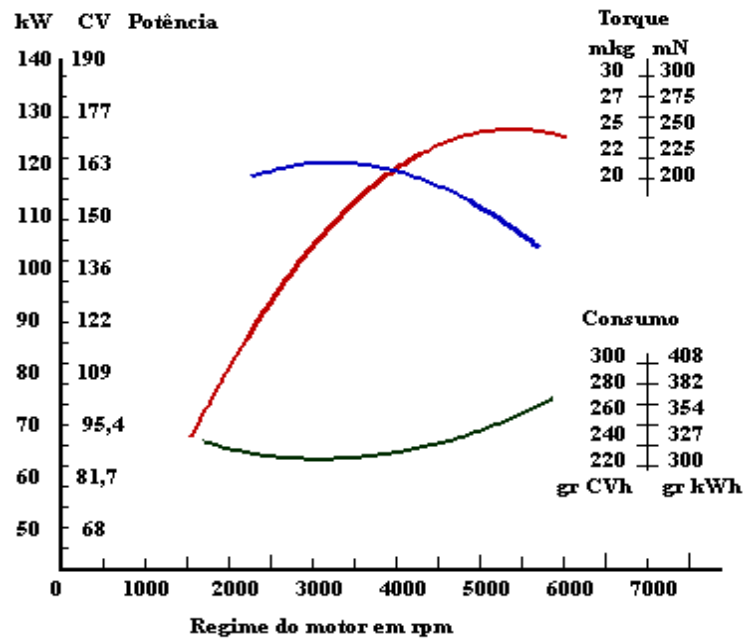
Praticamente, interessa permanecer ligeiramente abaixo.

O regime do torque máximo é considerado o regime inferior limite para a marcha a plena admissão.

Durante os testes do freio, mede-se com exatidão o consumo do carburante. Conhecendo a potência desenvolvida, deduz-se o consumo em gramas por kWh (CVh). A curva de consumo informa sobre os regimes econômicos do motor.

O consumo de um motor a gasolina é de 300 a 400 g/kWh (200 a 300 g/CVh).

O de um motor Diesel é de 250 a 360 g/kWh (170 a 240 g/CVh).



## RENDIMENTOS DOS MOTORES

### Rendimento global ou total

Chama-se rendimento de um motor a relação entre potência mecânica desenvolvida à saída do virabrequim e a que lhe é fornecida sob a forma de carburante.

Um grama de gasolina tem um poder calorífico de 11000 calorias (pequenas calorias).

Ora, uma caloria transformada totalmente em trabalho mecânico fornece 4,185 J, ou seja, uma força de 1 Newton (N), provocando um deslocamento de 1 m.

Um motor que consome 340 g de gasolina por kWh recebe por segundo uma energia de

$$340 \times 11000 \times 4,185/3600 = 4348 \text{ J/s}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}$$

$$1 \text{ KW} = 1000 \text{ J/s.}$$

Este motor recebe, sob forma de carburante uma energia calorífica capaz de fornecer 4348 J/s; e rende 1000 J/s.

O seu rendimento térmico é de

$$1000 \times 100/4348 = 23\%$$

**Observações:** O cálculo do rendimento de um motor pode ser feito com base no seu consumo por hora ou por segundo. Como os catálogos dos motores indicavam sempre, antigamente, o consumo em g por H.P./hora, era lógico calcular o rendimento a partir deste valor e em relação ao H.P./hora.

Com as novas unidades MKSA convém calcular o rendimento na base do consumo por segundo. A unidade de trabalho (J) é dez vezes menor que o (kgm) e a unidade de calor (cal) é mil

vezes menor que a (kcal), pelo que, calculando por hora, ter-se-ão valores extremamente elevados e pouco comuns na prática. Aliás, sendo a nova unidade de potência dos motores, o kW, correspondente a 100 J/s, é mais simples calcular o rendimento sobre esta base de tempo.

O rendimento de um motor de ciclo Otto funcionando a gasolina é em média de 21 a 25%. O de um motor de ciclo Diesel pode atingir mais de 35%.

A energia total desenvolvida pela combustão da gasolina no motor de ciclo Otto distribui-se do seguinte modo:

32% sob forma de calor gasto pelo sistema de arrefecimento dos cilindros;

35% sob forma de calor retirado pelos gases de escape;

8% sob forma de energia mecânica absorvida pelos atritos internos do motor;

25% sob forma de energia mecânica disponível na extremidade do virabrequim.

### **Rendimentos volumétricos (potência por litro)**

Para comparar os motores entre si, relaciona-se muitas vezes a sua potência efetiva à unidade de cilindrada expressa em litros, ou seja:

$$\text{potência/cilindrada} = \text{potência por litro}$$

Nos primeiros motores atingiam 5 C.V.(3,6 kW) por litro.

Este valor era baseado na potência nominal utilizada ainda hoje em vários países. Os motores modernos desenvolvem entre 30 kW(40 C.V.) e 37 kW(50 C.V.) por litro, e mais de 80 kW(100 C.V.) para os motores de alto rendimento.

Estes aperfeiçoamentos resultam principalmente no aumento dos regimes de rotação, da diminuição de peso das peças móveis e da qualidade do carburante.

Para comparação mais exata das vantagens da execução mecânica dos motores, é preciso determinar a potência por litro milhares de rpm, ou seja:

$$\text{potência/cilindrada} \times \text{regime} = \text{Potência por litro por 1000 rpm.}$$

Os valores atuais situam-se entre 5 e 9 kW por litro/1000 rpm, ou seja, entre 7 e 12 C.V..