

CAPITULO 2

Potência e pressões médias de um motor
de combustão

Definição de Potência e rendimento

- A potência, é por definição função do torque fornecido sobre o virabrequim, e da velocidade de rotação do mesmo. Um motor então, se caracteriza por sua curva de potência. (potência máxima desenvolvida a cada velocidade de rotação admissível).
- O rendimento, que caracteriza a eficácia do processo de conversão da energia introduzida pelo combustível, em trabalho realizado no eixo do virabrequim.

POTÊNCIA

- Pode ser medida de diferentes formas dependendo de:

a) Auxiliares de série montados nos ensaios em banco motor:

Potencia neta/liquida: Equipamentos standard (ISO, DIN,..)

Potencia bruta: Equipamentos estritamente necessários ao funcionamento do motor (SAE)

b) Condições atmosféricas referência:

Motor = sistema. Termodinâmico aberto

- Definições de medidas de potência bastante variadas: **ISO, SAE, DIN, JIS...**

Prestações motor

Dois termos a se levar em conta:

- **Potência**: Função do torque (C) sobre a arvore e da velocidade de rotação (N [rpm] ou ω [rad/s])

$$P \text{ (W)} = C \text{ (N}\cdot\text{m)} \cdot \omega \text{ (rad/s)}$$



$$P \text{ (kW)} = \frac{C \text{ (N}\cdot\text{m)} \cdot N \text{ (rpm)}}{9549,3}$$

- **Rendimento**: Caracteriza a eficiência da transformação

Energia introduzida
pelo combustível

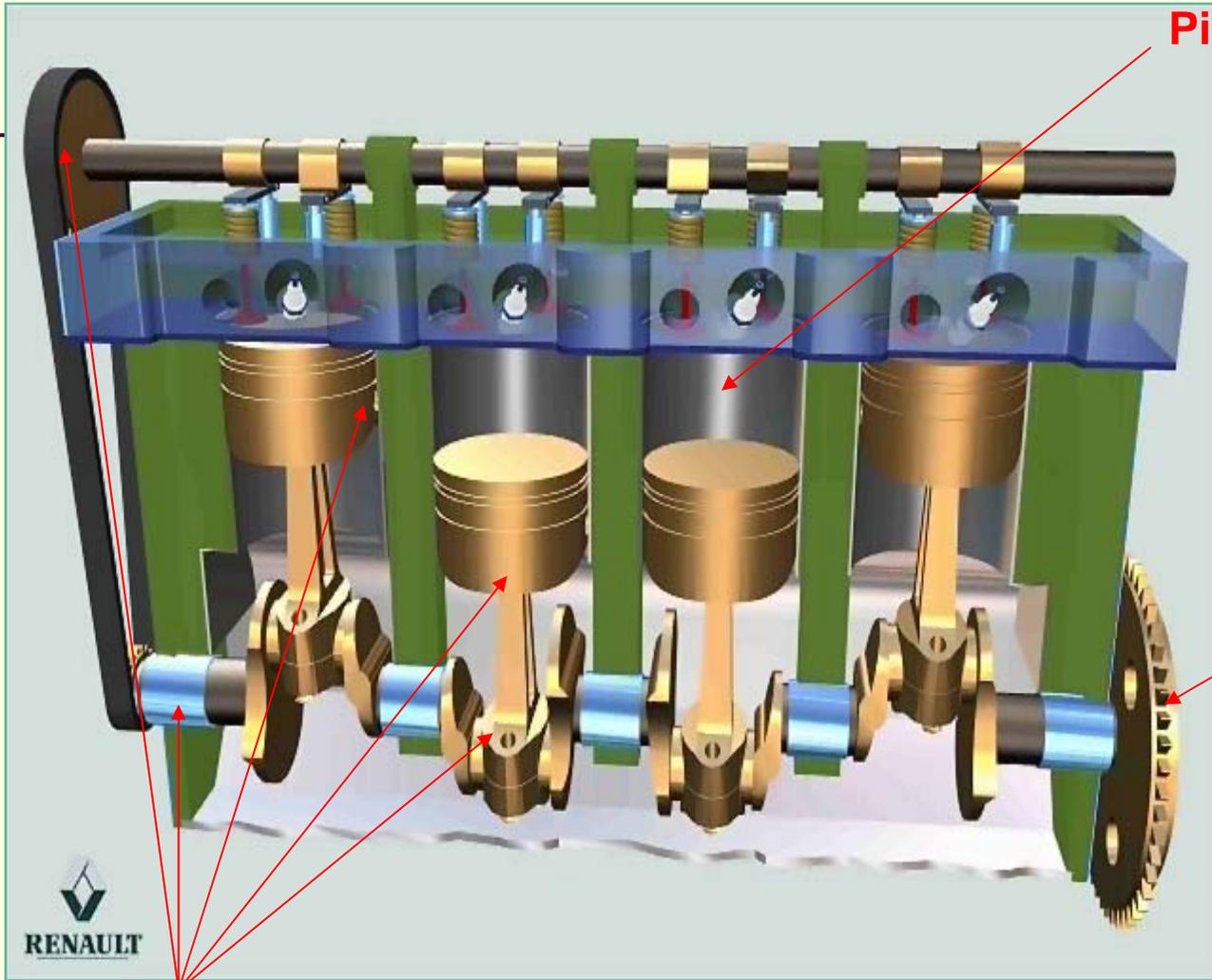


Energia mecânica

Potência

- **Potência efetiva (P_e):** Potencia medida sobre a “árvore” do motor ou no freio do dinamômetro;
- **Potência indicada (P_i):** Potencia total desenvolvida nos cilindros devido a pressão do fluido motor sobre os pistões. Se determina a partir de um indicador de pressão localizado dentro da câmara de combustão;
- **Potência perdida por atritos (P_f):** Atrito nos:
 - Elementos moveis: pistão/biela, pistão/cilindro, etc...
 - Auxiliares: Distribuição, bomba d'água, bomba de óleo, etc....

$$P_e = P_i - P_f$$



Pf

$$P_e = P_i - P_f$$

Pressão Média Indicada (PMI)

- Definição: é a pressão constante teórica que, aplicada sobre o pistão durante seu curso motriz “L”, forneceria o mesmo trabalho indicado W_i , correspondente ao ciclo completo.

$$W_i = PMI \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L$$

$$W_i = PMI \cdot V_{cyl}$$

Pressão Média Indicada (PMI)

- A PMI representa a razão entre o trabalho fornecido sobre o pistão pelas forças de pressão dos gases, e o volume movimentado pelo pistão “aspirado pelo motor”.
- Isto se traduz sobre o diagrama “pressão x volume”, pela altura do retângulo, logo, a área é igual a do ciclo expresso abaixo.

$$PMI = \frac{\oint p \cdot dV}{V_{cyl}}$$

Pressão Média Indicada (PMI)

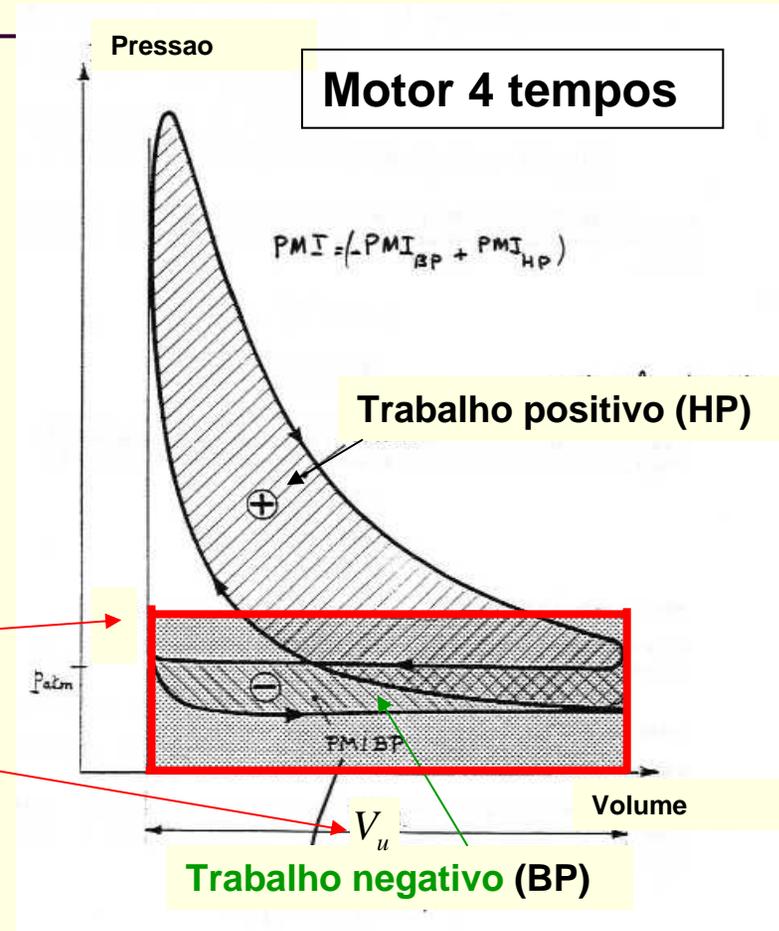
• Trabalho indicado:

$$W_i = \oint_{cycle} p \cdot dV$$

• Pressão Média Indicada (PMI):

$$W_i = PMI \cdot V_u$$

$$PMI = \frac{\oint p \cdot dV}{V_u}$$





Relações entre PMI, PI, C, PME

Relação entre PMI e Torque indicado (C_i)

- O trabalho realizado num ciclo completo de um motor **4 tempos** pode expressar-se como:

$$PMI (bar) = \frac{4\Pi}{100} \cdot \frac{C_i (m.N)}{V_{cyl} (dm^3)}$$

$$W_i = \oint p.dv = 4\Pi.C_i$$

$$W_i = PMI.V_{cyl}$$

Motor 4 tempos:
1 ciclo motor cada
2 rotações virabrequim
(4π radianos)

- Então, para um motor **2 tempos**:

$$PMI(bar) = \frac{2\Pi}{100} \cdot \frac{C_i(m.N)}{V_{cyl}(dm^3)}$$

Motor 2 tempos:
1 ciclo motor cada
1 rotação virabrequim
(2π radianos)

Relação entre PMI e potencia indicada (Pi)

$W_i \rightarrow P_i$ Multiplicando pelo numero de tempos motores por segundo (nc)

Motor 4 tempos:

$$n_c (\text{ciclos/s}) = \frac{N (\text{rpm})}{120} \longrightarrow P_i = \frac{1}{120} \cdot PMI \cdot V_{cyl} \cdot N$$

$$PMI (\text{bar}) = \frac{1200 \cdot P_i (\text{kW})}{V_{cyl} (\text{dm}^3) \cdot N (\text{rpm})}$$

Relação entre PMI e potencia indicada (Pi)

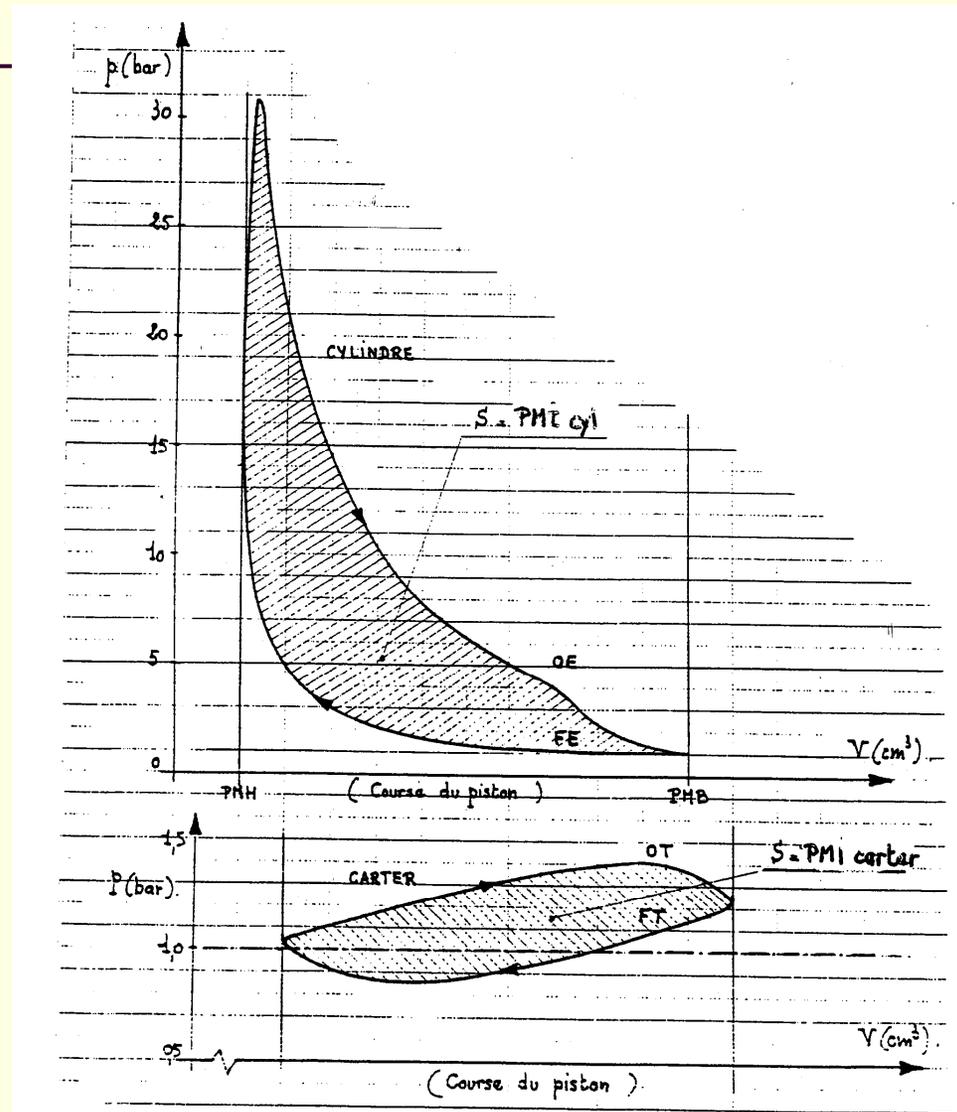
■ Motor 2 tempos:

$$n_c (\text{ciclos/s}) = \frac{N (\text{rpm})}{60}$$



$$P_i = \frac{1}{60} \cdot PMI \cdot V_{cyl} \cdot N$$

$$PMI (\text{bar}) = \frac{600 \cdot P_i (\text{kW})}{V_{cyl} (\text{dm}^3) \cdot N (\text{rpm})}$$



Pressão Média Efetiva (PME)

Pressão Média de Atrito (PMF)

- Definição de PME: ela é uma pressão “fictícia”, que para um motor com certa característica, está ligada diretamente ao torque “C” desenvolvido pelo motor sobre o virabrequim.

$$PME(bar) = \frac{1200.P_e (kW)}{V_{cyl} (dm^3).N(rpm)}$$

- Expressões análogas a PMI:

$$PMF(bar) = \frac{1200.P_f (kW)}{V_{cyl} (dm^3).N(rpm)}$$

$$PME = PMI - PMF$$

Outras expressões de pressões médias

- Introduzindo a velocidade média do pistão (V_p) e a seção do pistão (S_p)

$$PME(bar) = \frac{0,04.P_e(kW)}{n.S_p(m^2).V_p(m/s)}$$

$$P_e(kW) = 25 . n . S_p(m^2) . V_p(m/s) . PME(bar)$$

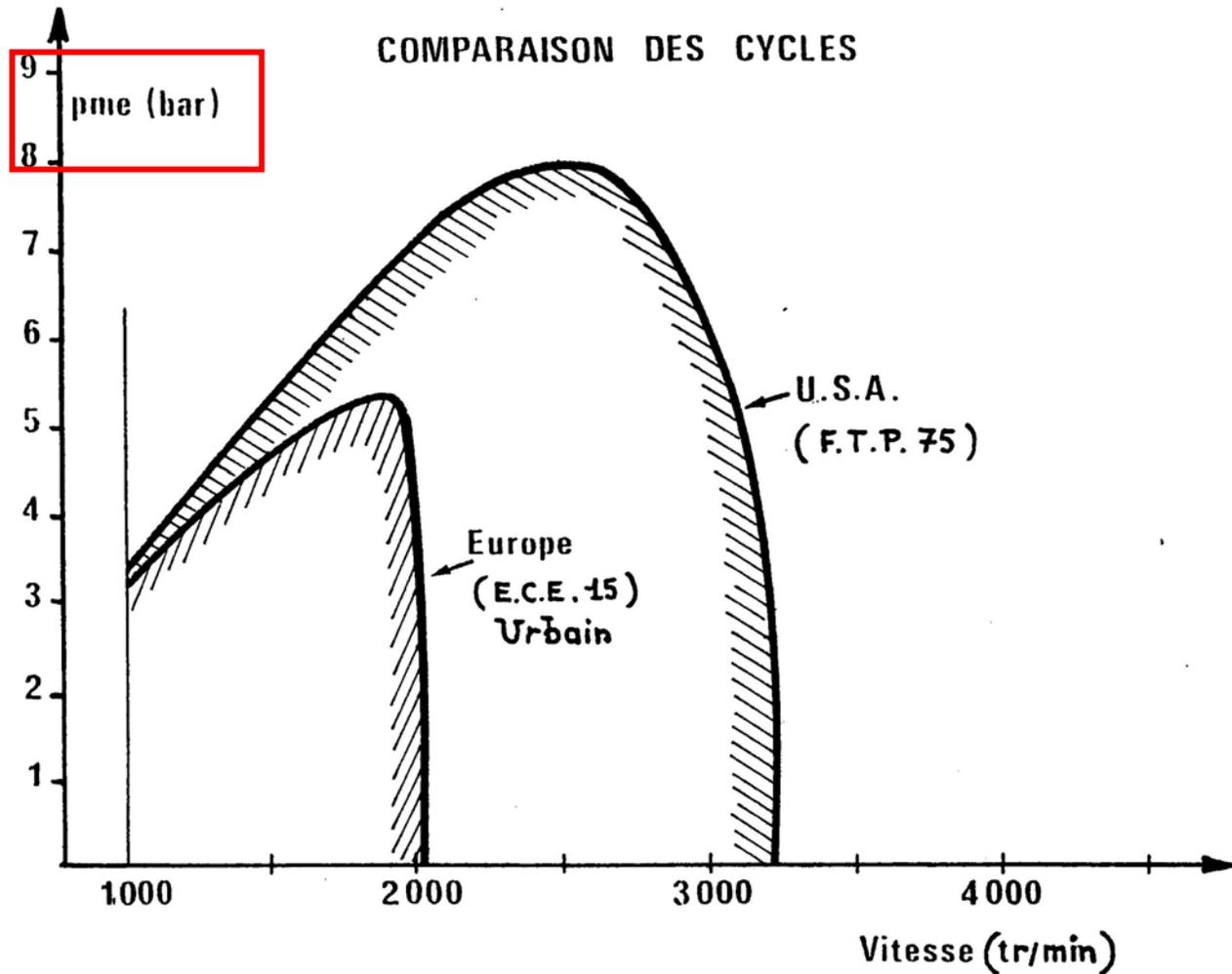
- Multiplicando por V_p :

$$(PME . V_p)(bar.m/s) = 4 . \frac{P(kW)}{n . S_p(dm^2)}$$



Representativo da carga
térmica do motor

Comparação ciclos- NMVEG x FTP 75



Pressões médias

- As pressões médias nos permitem também comparar prestações em motores porque é proporcional ao torque específico (Nm/l)

$$\frac{P(kW)}{V_{cyl}(l)} \longrightarrow \frac{C(Nm)}{V_{cyl}(l)} \cdot \omega(rad/s) \quad \boxed{PMI(bar) = \frac{2\pi}{100} \cdot \frac{C_i(m.N)}{V_{cyl}(dm^3)}}$$

- A PME max caracteriza a qualidade do uso da cilindrada do motor. É uma medida de ENERGIA.

Potência e carga de um motor

- **Carga:** define a quantidade de potência ou torque que se demanda de um motor.
- Expressa em valores relativos:

$$\text{Meia carga a um regime N} \left\{ \begin{array}{l} \bullet P_e = 0,5 * P_{e_{\max}} \\ \bullet C = 0,5 * C_{\max} \end{array} \right.$$

- Só define as condições de funcionamento motor se este tem as regulagens definidas e as condições ambientais são as mesmas nas quais a potencia máxima fora calculada
- A carga é regulada por:

Abertura da borboleta  Ignição
Débito de combustível  Diesel

NOÇÕES DE TORQUE MÉDIO

Torque médio de um motor

- O torque médio motor é a resultante de uma força “F” perpendicular ao mancal de biela \times braço de alavanca constante e igual ao raio da manivela, ou meio curso do pistão.
- O torque instantâneo, se integrado pelos 4π radianos, ou 720° de rotação do virabrequim (1 ciclo para motores 4 tempos), nos dá o TORQUE MÉDIO do motor.

Torque médio de um motor

- Para um funcionamento motor estabilizado, este torque médio, é a resultante de dois torques:
 - Torque gerado pela pressão dos gases dentro do cilindro => torque MOTOR;
 - Torque gerado pelas peças móveis do motor, que se desprezados os atritos, tem resultante NULA.

Torque médio de um motor

O torque instantâneo é negativo logo antes do PMH. Isto se deve a posição da biela, que em função da pressão na câmara, esta ainda comprimindo os gases.

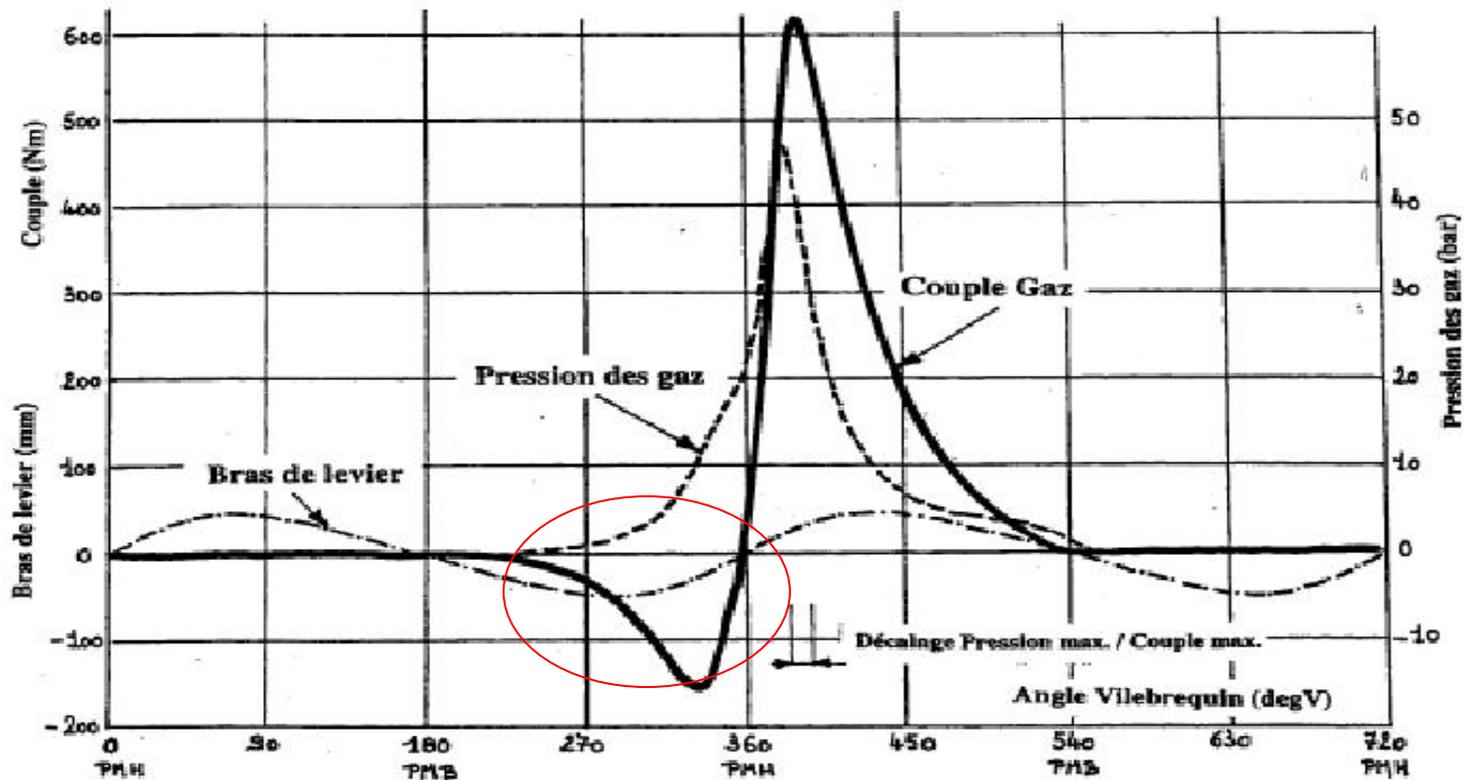


Fig. II.3.1. – Couple instantané dû à la pression des gaz

Torque médio de um motor

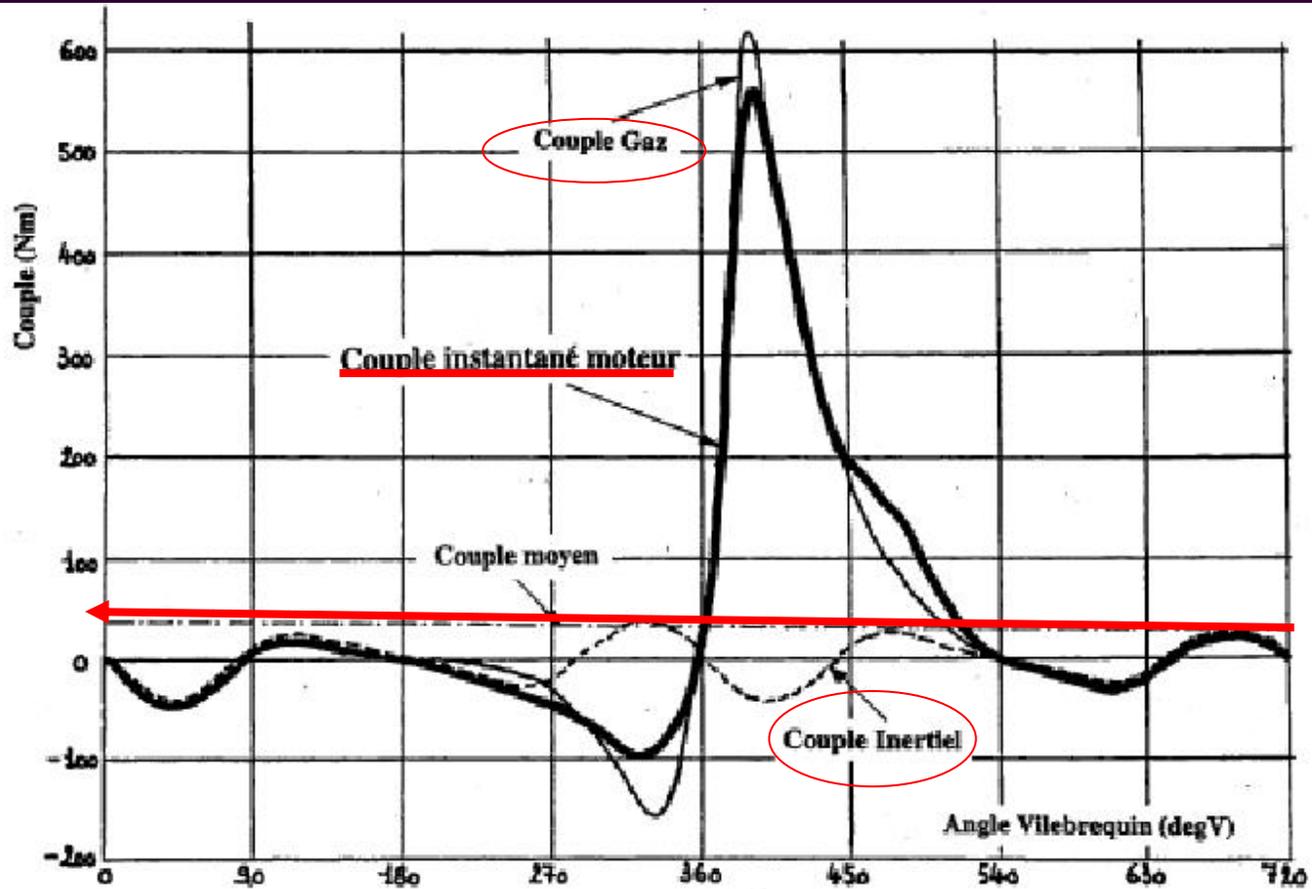
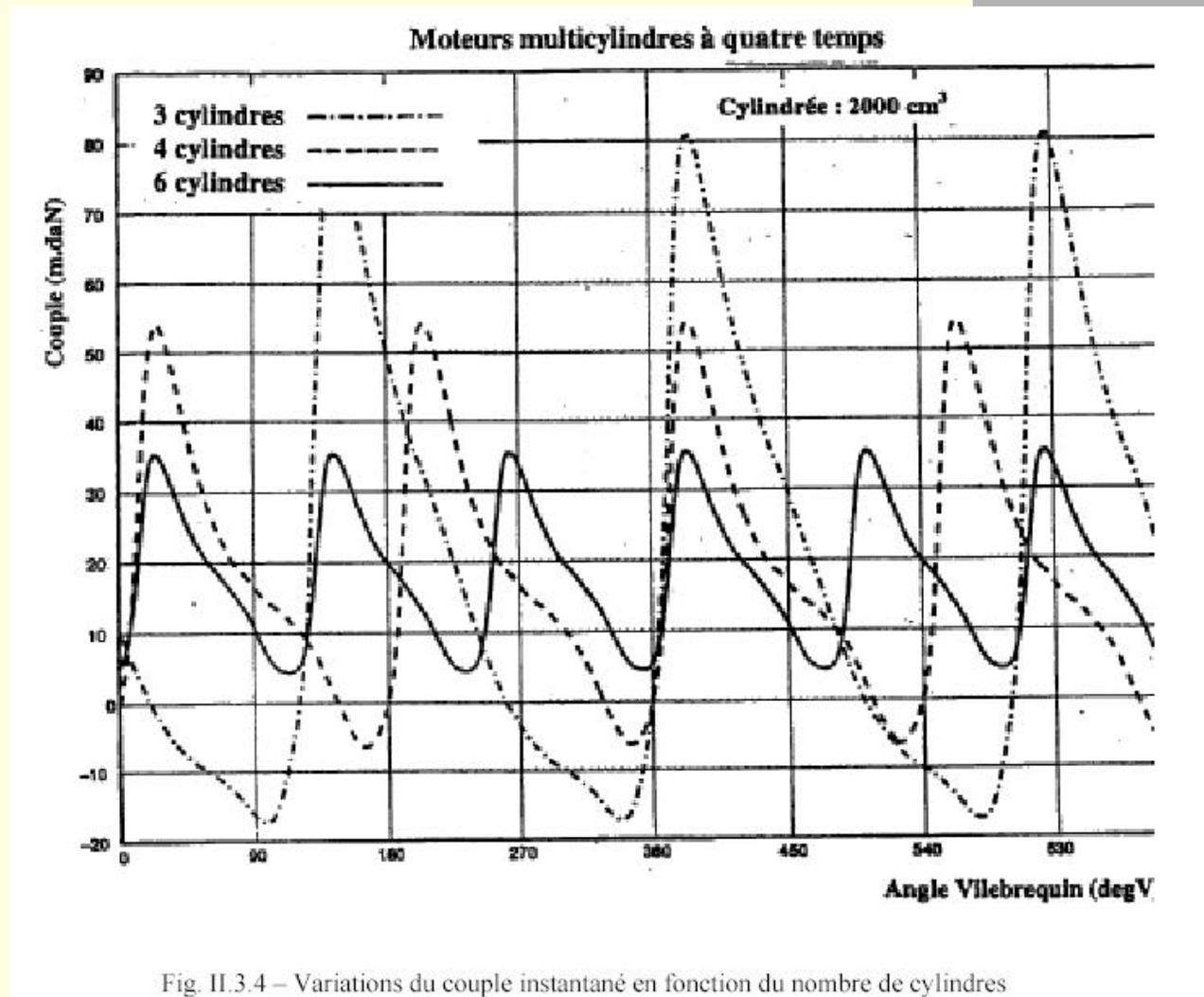


Fig. II.3.3. – Couple moteur résultant du « Couple Gaz » et du « Couple Inertiel » pour un moteur monocylindre

Torque instantâneo em função do número de cilindros



Regularidade de funcionamento

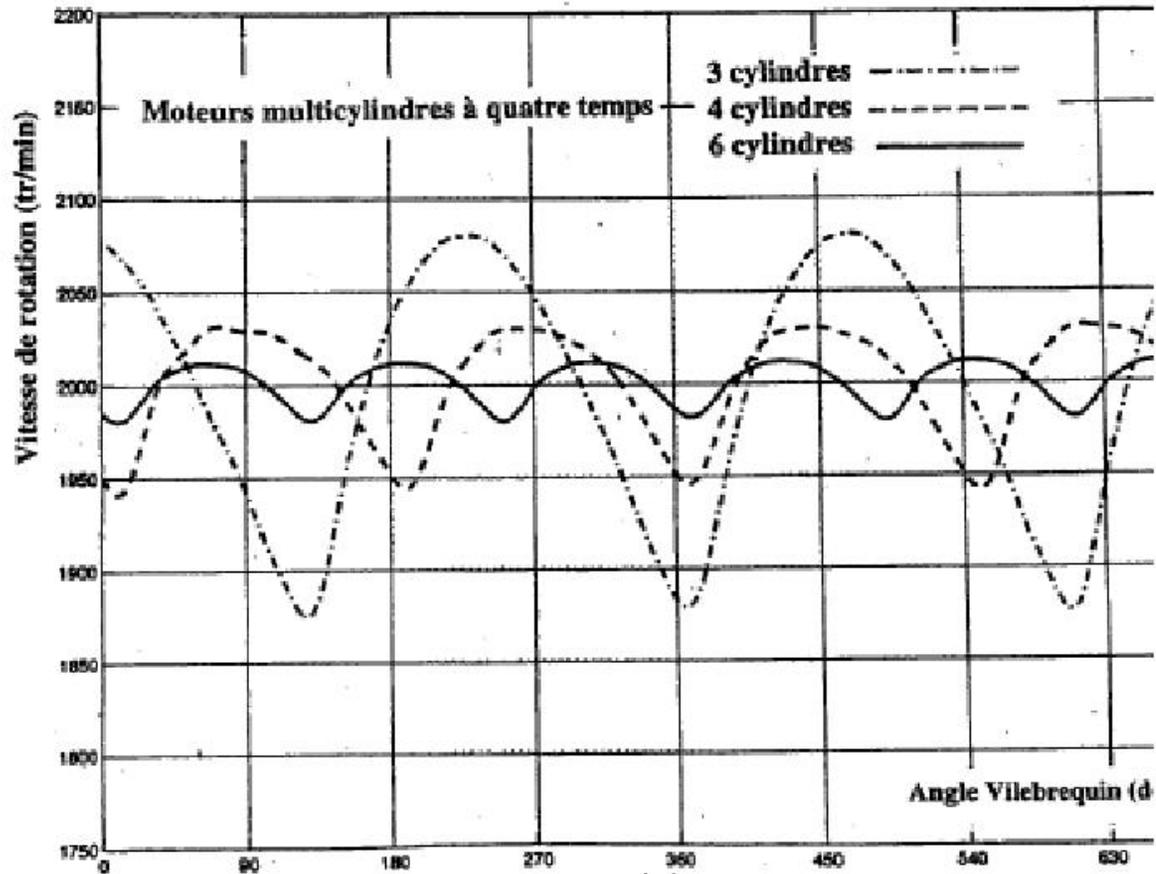


Fig. II.3.5 – Régularités cycliques pour des moteurs à 4 temps de 3, 4, 6 cylindres
(Cylindrées et inerties de rotation constantes)

Regularidade de funcionamento

Motor BMW 850i – V12



Pressão Média Efetiva (PME)

Pressão Média de Atrito (PMF)

S.E.M.T. Pielstick PC 4.2 B



DIESEL

$$PME(bar) = \frac{1200 \cdot P_e (kW)}{V_{cyl} (dm^3) \cdot N (rpm)}$$

$$Vp(m/s) = \frac{L \cdot N \cdot 10^{-3}}{30}$$

Bore	570 mm
Stroke	660 mm
Speed	429 / 400 rpm
Mean eff. pressure	22.0 / 22.3 bar
Piston speed	9.4 / 8.8 m/s

Engine type	429 rpm 50 Hz		400 rpm 60 Hz	
	Eng. kW	Gen. kW	Eng. kW	Gen. kW
18 PC 4.2 B	23 850	23 205	22 500	21 890

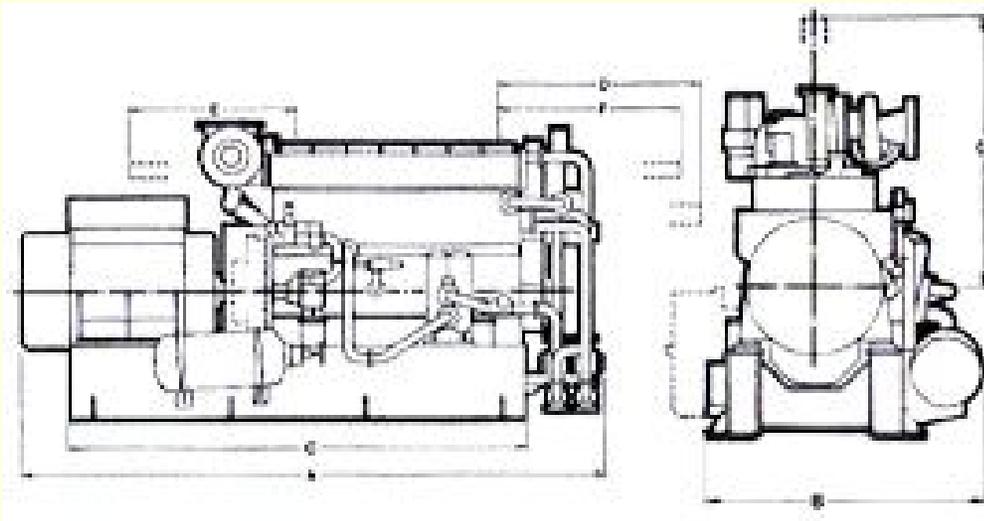
Specific fuel oil consumption 100% P	PC 4.2 B - 400 rpm	182 g/kWh
	PC 4.2 B - 429 rpm	185 g/kWh
Specific lube oil consumption	PC 4.2 B	approx. 1.0 g/kWh

Pressão Média Efetiva (PME)

Pressão Média de Atrito (PMF)

MAN B&W L-V 20 / 27 DG

NATURAL GAS



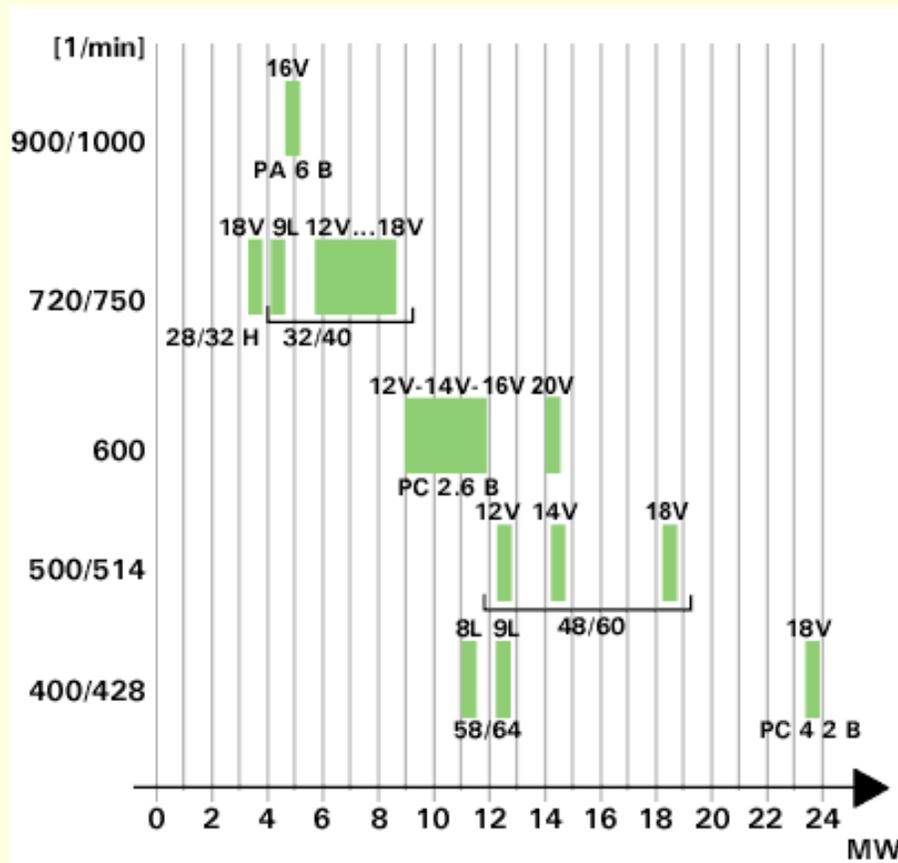
$$PME(bar) = \frac{1200 \cdot P_e (kW)}{V_{cyl} (dm^3) \cdot N (rpm)}$$

$$Vp(m/s) = \frac{L \cdot N \cdot 10^{-3}}{30}$$

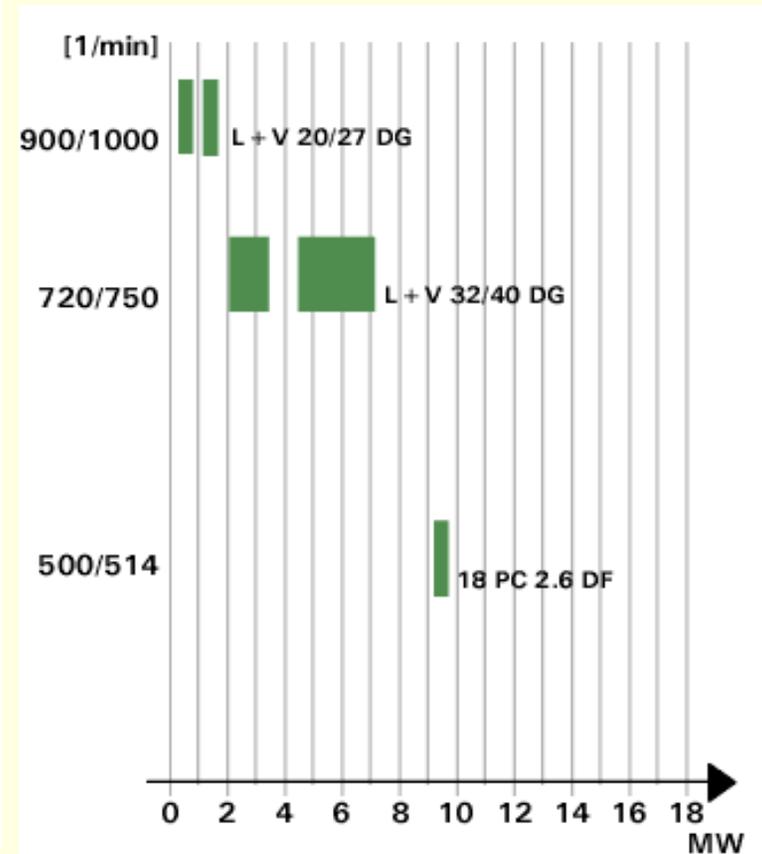
Bore	200 mm
Stroke	270 mm
Speed	1 000 / 900 rpm
Mean eff. pressure	12.7 bar
Piston speed	9.0 / 8.1 m/s

Comparação DIESEL x GNV

COMMON FOUR-STROKE DIESEL ENGINE PROGRAMME
BETWEEN S.E.M.T. Pielstick AND MAN B&W Diesel



FOUR-STROKE GAS ENGINE PROGRAMME



Aplicações de grandes motores



PME entre 2 e 4 Tempos

DESCRIÇÃO	MODELO DE LOCOMOTIVA				cilindrada	
	GT 18	GT 22	GT 26 - 2T	GT 26 - 4T	4,15	
Potencia total (hp)	1555	2450	2875	3300	10,55	litros/cil
Potencia total (kw)	1144,48	1803,2	2116	2428,8	84,38	8 cil
Nº de cilindros	8	12	16	16	126,57	12 cil
Disposição dos cilindros	"V" - 45°				168,76	16 cil
Diâmetro e curso dos Pistões	230mm x 254 mm					
Deslocamento por cilindro	10570cm ³ - 645 pol ³					
Cilindrada	84.381,84 cm ³	126.572,77 cm ³	168.763,69 cm ³	168,76		
Óleo lubrificante	519 L	670 L	945,5 L			
Óleo combustível	3400 L	7.000 L	6100 L			
Peso do Motor	9.680 Kg	12.840 Kg	16.000 Kg			
Peso do Turbo	795 Kg	841 Kg	890 Kg			
Peso da locomotiva	82720 Kg	108000Kg	111500 Kg			
Rotação Máxima	900 rpm			1200		
Velocidade media do pistao (m/s)						
Pme (bar)						
Consumo horario (l/h)						
Consumo horario (g/h)						
Consumo especifico (g/kw . h)						

Alguém no quadro para calcular Vm e PME???

PME entre 2 e 4 Tempos

DESCRIÇÃO	MODELO DE LOCOMOTIVA				cilindrada	
	GT 18	GT 22	GT 26 2 Tempos	GT 26 4 Tempos	4,15	
Potencia total (hp)	1555	2450	2875	3300	10,55	litros/cil
Potencia total (kw)	1144,48	1803,2	2116	2428,8	84,38	8 cil
Nº de cilindros	8	12	16	16	126,57	12 cil
Disposição dos cilindros	"V" - 45º				168,76	16 cil
Diâmetro e curso dos Pistões	230mm x 254 mm					
Deslocamento por cilindro	10570cm ³ - 645 pol ³					
Cilindrada	84.381,84 cm ³	126.572,77 cm ³	168.763,69 cm ³	168,76		
Óleo lubrificante	519 L	670 L	945,5 L			
Óleo combustível	3400 L	7.000 L	6100 L			
Peso do Motor	9.680 Kg	12.840 Kg	16.000 Kg			
Peso do Turbo	795 Kg	841 Kg	890 Kg			
Peso da locomotiva	82720 Kg	108000Kg	111500 Kg			
Rotação Máxima	900 rpm			1200		
Velocidade media do pistao (m/s)	7,62	7,62	7,62	10,16		
Pme (bar)	9,0	9,5	8,4	16,7		
Consumo horario (l/h)						
Consumo horario (g/h)						
Consumo especifico (g/kw . h)						

PMI entre 2 e 4 tempos

