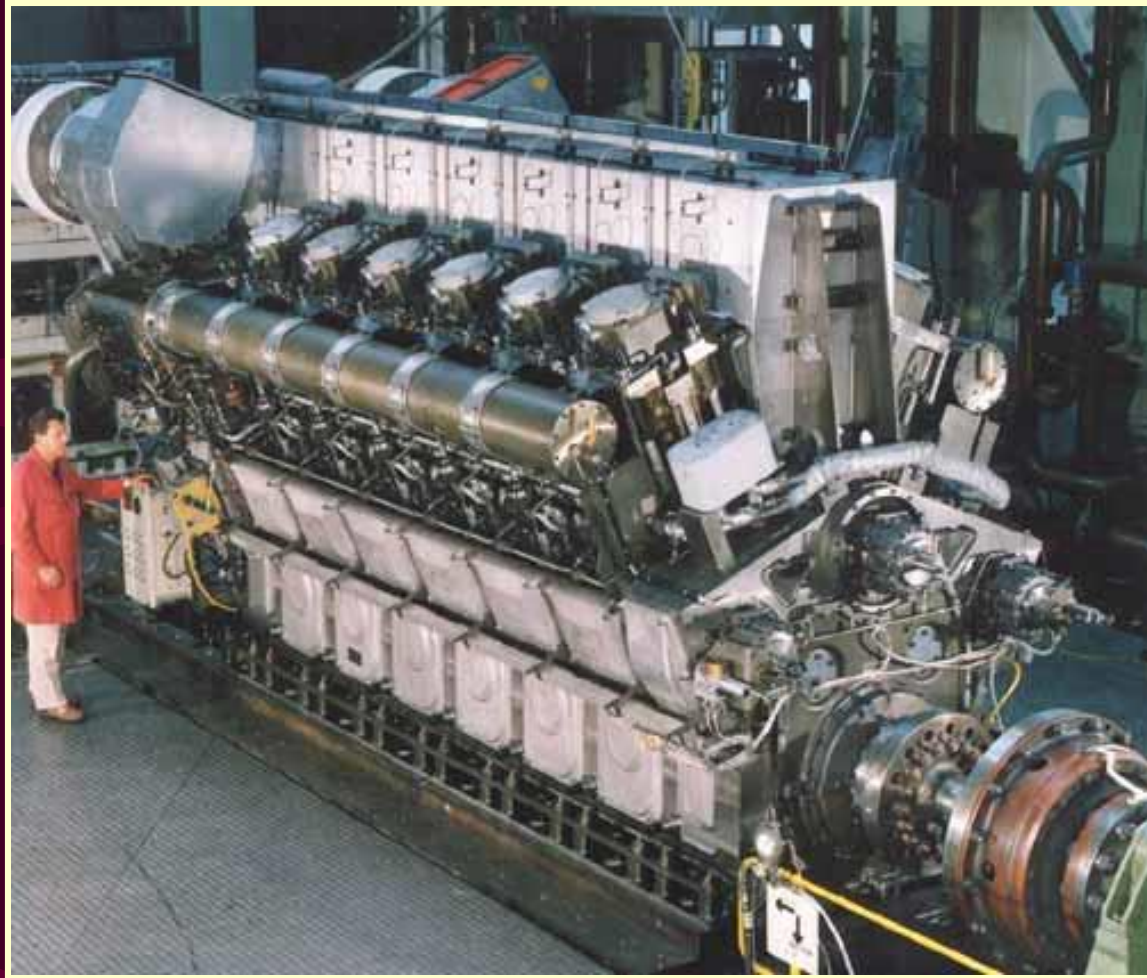


Seleção Máquinas do Navio



Seleção do Motor de Propulsão

☑ **Aspecto complexo**

Grande número de combinações possíveis

Engenheiro naval $\Rightarrow$ Implicações

☑ **Monohélice vs. Bi-hélice**

- *Predominância monohélices*

simplicidade, facilidade controle, máxima eficiência propulsive;

- *Seleção multi-hélices*

potência requerida alta - limitações práticas;

embarcações para águas rasas - restrição diâmetro;

vantagens:

** manobrabilidade;*

** redundância;*

- *Número propulsores e motores podem ser distintos*

Seleção do Motor de Propulsão

☑ **Máquina Principal** **(combustão interna)**

- Motor diesel
- Turbina a gás
- Turbina a vapor
(não é combustão interna)



☑ **Motor Diesel/Gasolina**

Processo de ignição distintos (faísca vs. compressão);
Diesel $\Rightarrow$ bloco mais pesado;

☑ **Motores de 2 tempos vs. 4 tempos**

- ciclo: Compressão, expansão, exaustão, admissão
- motores 2 tempos $\Rightarrow$ menores, mais leves - ?
- motores 4 tempos $\Rightarrow$ mais eficientes;
- combustível pulverizado ao final compressão;

Motores Diesel

✓ **Baixa Rotação**

- Desenvolvidos p/ navios
- Transmissão direta
- Rotação: 60 ~ 270 RPM
- Maior potência
- Consumo: 170-185 g/kWh
(óleo pesado - bunker - HFO)
- Em linha → 4 ~ 14 cil.
- Fabricantes: MAN B&W
Win GD (Wärtsila, SULZER)
Mitsubishi

✓ **Média Rotação**

- Plantas estacionárias/
locomotivas
- Rotação: 450 ~ 800 RPM

Power of about 7000 kW

Slow speed diesel:

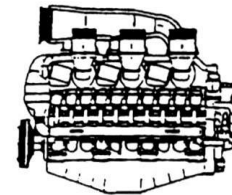
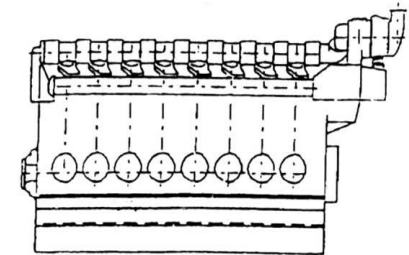
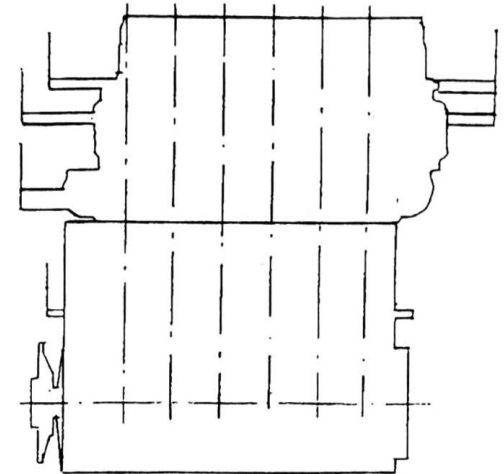
7000 kW @ 100 rpm
317 tonnes
1.11 tonnes/m³ or 0.90 m³/tonne
0.044 tonnes/kW or 23 kW/tonne

Medium speed diesel:

7650 kW @ 520 rpm
153 tonnes
0.80 tonnes/m³ or 1.25 m³/tonne
0.02 tonnes/kW or 50 kW/tonne

High speed diesel:

7000 kW @ 1300 rpm
21 tonnes
0.84 tonnes/m³ or 1.9 m³/tonne
0.003 tonnes/kW or 330 kW/tonne



Motores Diesel



✓ Média Rotação

- 4 tempos;
- Maior potência: 23.450 kW;
- Consumo: 167-200 g/kWh (diesel/bunker);
- Disposição cilindros
 - $L \rightarrow 6 \sim 9$ cilindros; $V \rightarrow 12 \sim 18$ cilindros
- Fabricantes: Caterpillar-Mak, MAN B&W (SEMT Pielstick), Wärtsilä;

- Grandes embarcações: Emprego redutores $\Rightarrow$ Hélice maior diâmetro
- Escolha frequente em instalações diesel-elétrica

✓ Alta Rotação

- Adaptados caminhões
- Compactos e leves $\Rightarrow$ Embarcações menores
- Rotação: 1000 ~ 3000 RPM
- Consumo específico: 187-250 g/kWh (diesel)
- Potência máxima: 7400 kW MTU V20 , 1300 RPM

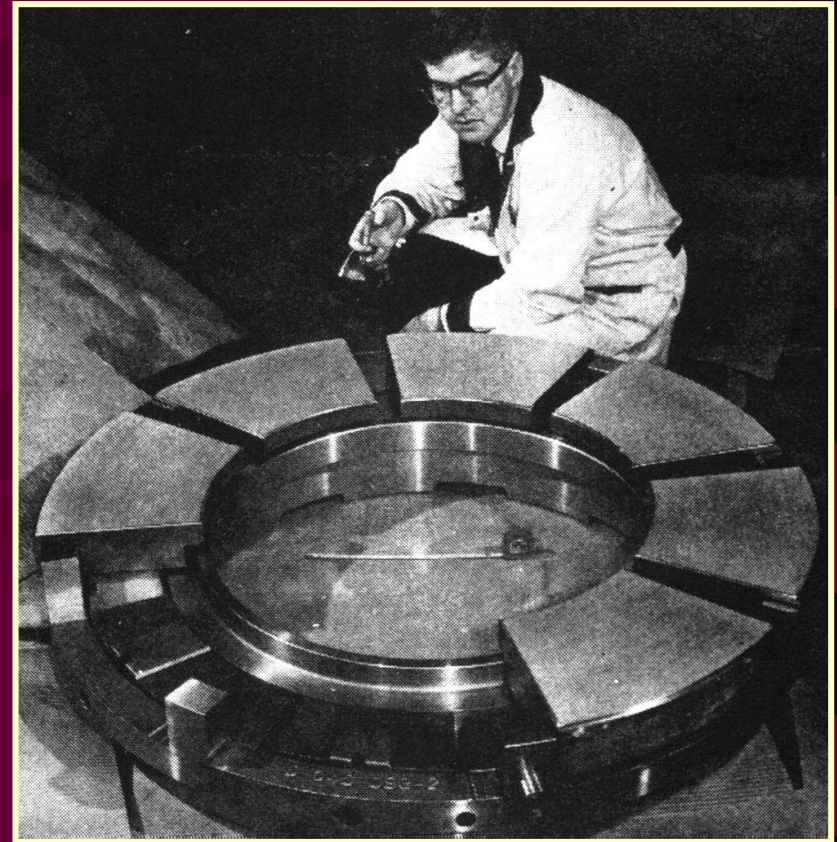
Sistema de Transmissão

✓ *Torque do motor ao hélice*

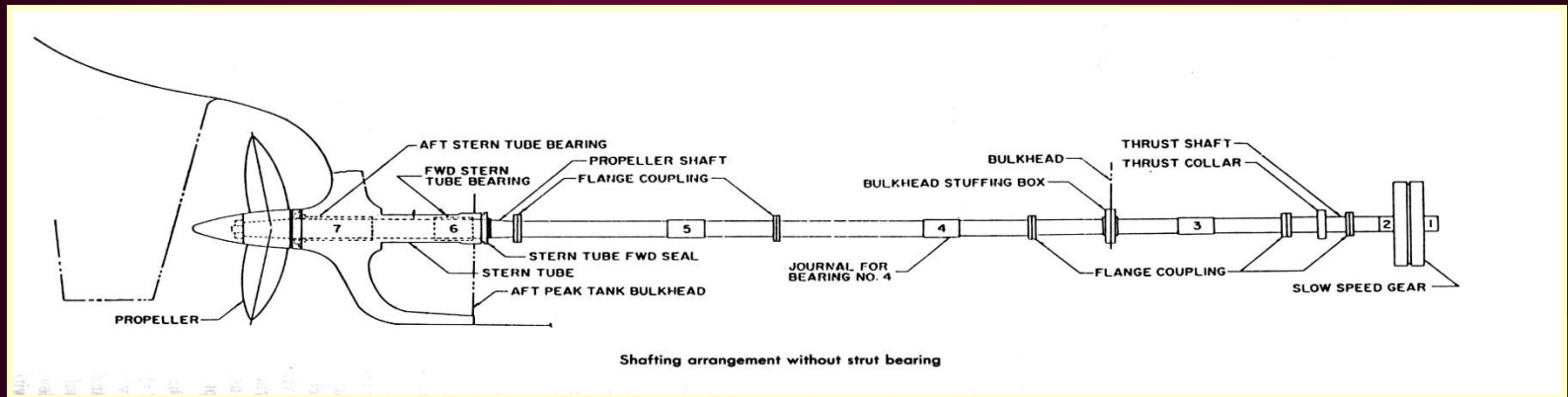
Empuxo do hélice ao casco (“Thrust Bearing”)

✓ *Tipos de transmissão*

- *Direta : Grandes navios →
100 RPM → Eficiência hélice
maior em baixas rotações*
- *Motor Diesel: Reversíveis ???*
- *Engrenagens redutoras :
Compatibilizar rotação
motor/hélice*
- *Sistema elétrico: Conjunto Diesel-
elétrico; transmissão por cabos;
Motor elétrico*
*Vantagens: Versatilidade;
manobrabilidade; eliminação túnel do eixo; boas qualidades
de absorção de choques*



Seleção da Máquina Principal



☑ **Considerações Básicas**

- *Potência requerida → Número e tipo, propulsor;*
- *Peso e volume;*
- *Custo de capital (custo instalação);*
- *Custos operação → (consumo específico e custo combustível),
perfil operacional: serviço, portos, atrasos, manuseio de carga;*
- *Confiabilidade e manutenção;*
- *Capacidade de manobra / operação em velocidade reduzida;*
- *Vibração e ruído*
- *Disponibilidade*

Sistemas Auxiliares

☑ **Geração eletricidade**

- Aumento contínuo de energia elétrica a bordo;
*bow thrusters, carga/descarga, amarração, leme;
hotelaria, equipamentos de navegação,
praça de máquinas: bombas;*
- Vida útil do navio → **Previsão** aumento de demanda;
- Carga → Visualizar perfil de operação (pico de demanda);
- Navio Comum : 2 unidades independentes (3 stand by),
Manutenção - 1 unidade não prejudica operação;

☑ **Utilização Calor Perdido**

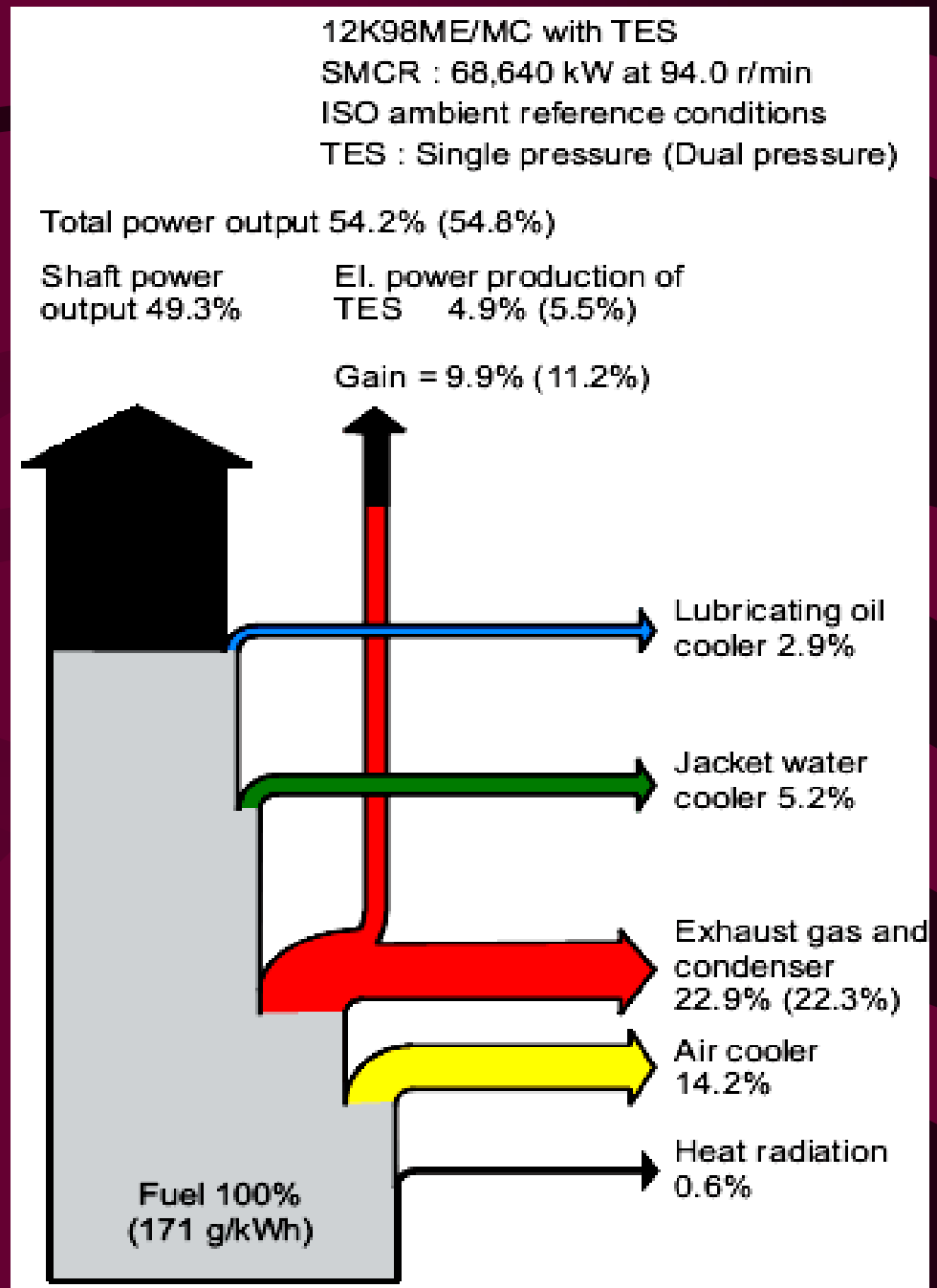
- Energia dos gases de escape;
*Navios mercantes : Não atende demanda energia elétrica;
Graneleiros : Atende demanda elétrica;*
- Desenvolvimento motor Diesel → Redução disponibilidade calor

☑ **Gerador de Eixo**

- Maneira eficiente geração energia elétrica;

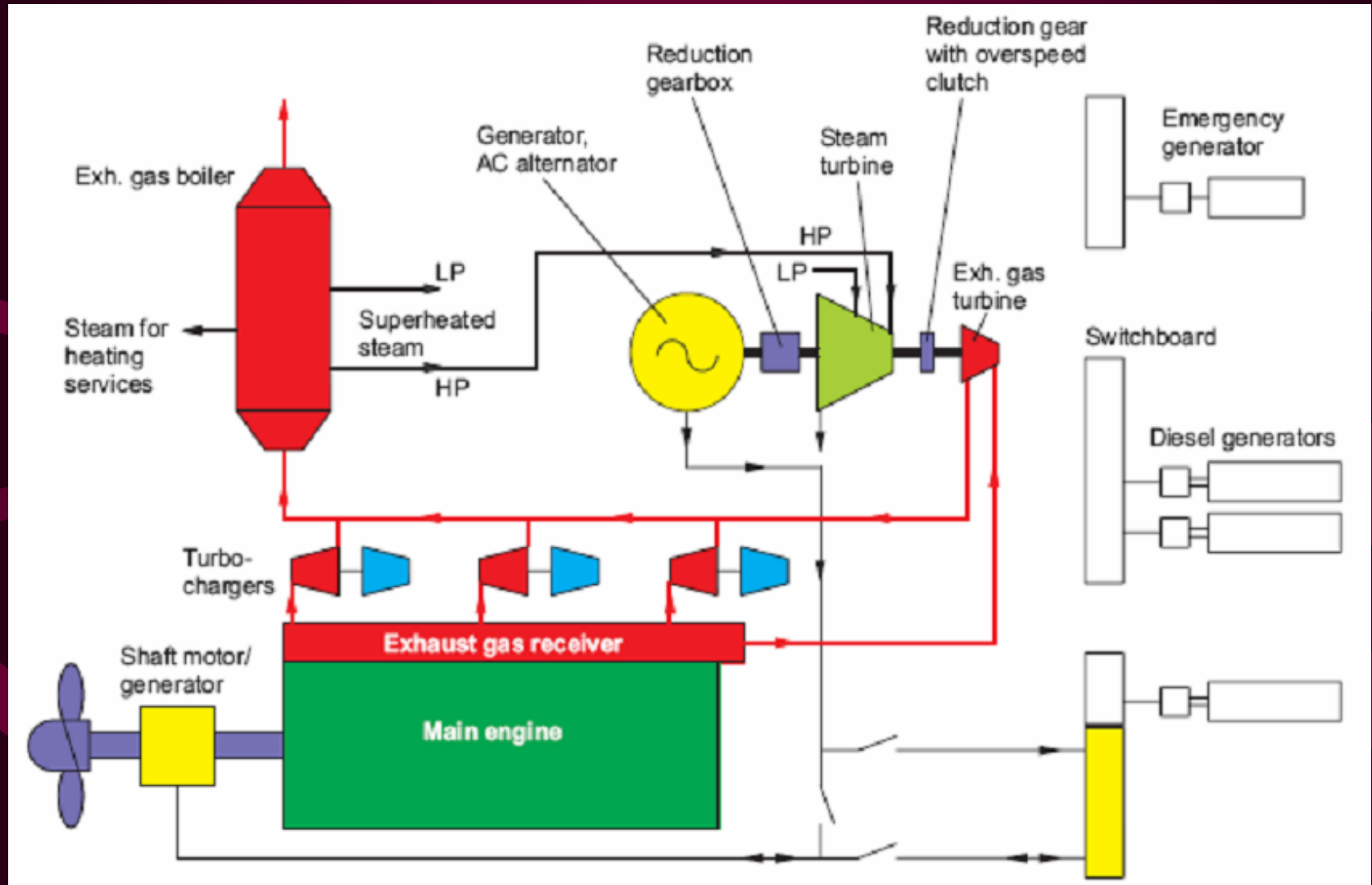
Eficiência Instalação Diesel

Heat balance diagram of the nominal rated 12K98ME&MC engine in Thermo efficiency System (TES) version operating at ISO ambient reference conditions and at SMCR



Eficiência Instalação Diesel

Power concept – Thermo Efficiency System



“Lei do Propulsor”

- ✓ Navio em baixa velocidade, hélice de passo fixo;
⇒ Velocidade proporcional a rotação

$$P = k V^3 \Leftrightarrow k n^3 = P$$

- ✓ Potência requerida para navio em função da velocidades:
(MAN B&W)

$$P = k V^3$$

Navios com velocidade baixa;

$$P = k V^{3,5}$$

Navios baixa velocidade (tanques/navios “feeder” pequenos;

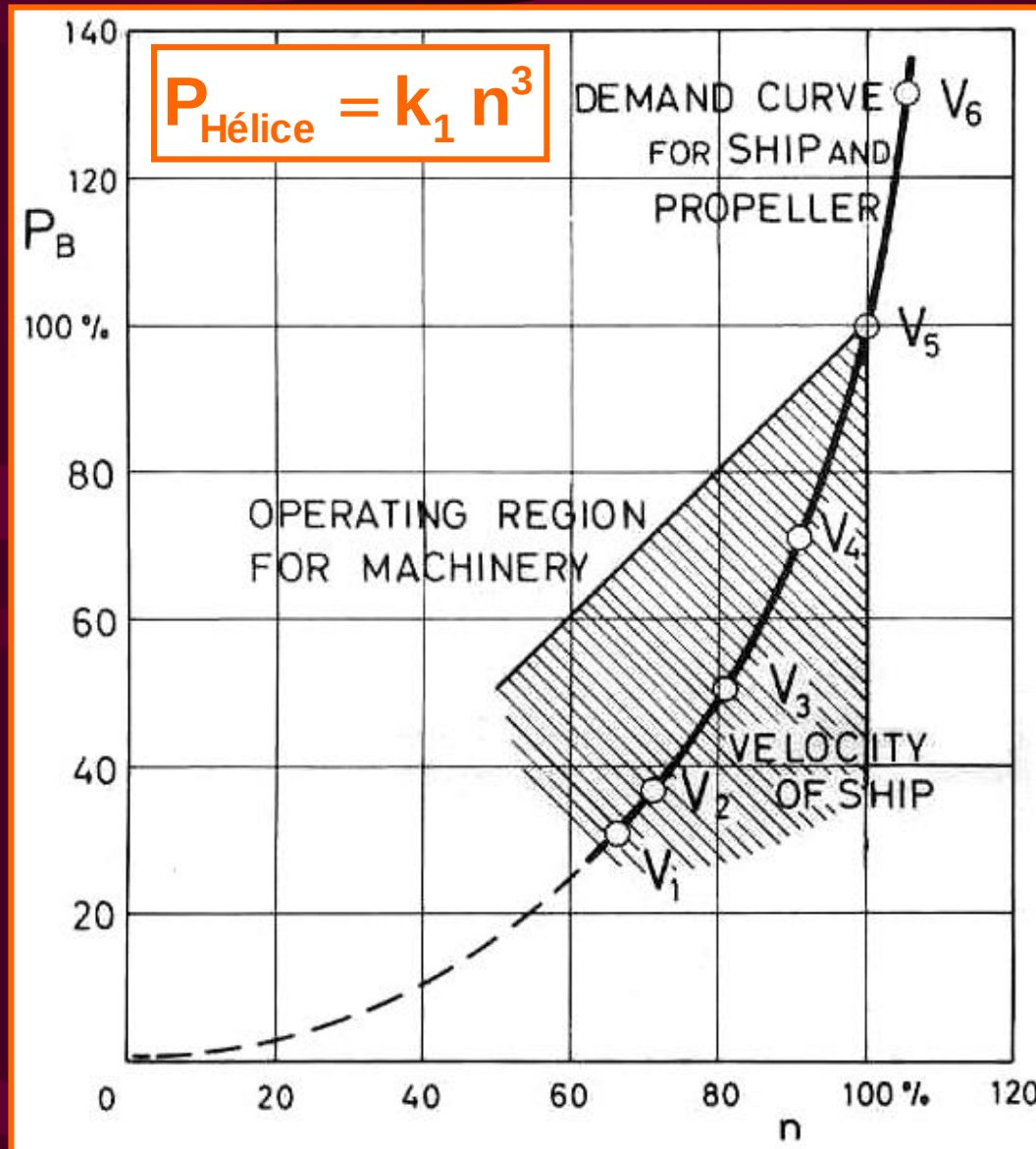
$$P = k V^4$$

Navios “feeder” porta-contêineres médios, média velocidade;

$$P = k V^{4,5}$$

Grandes navios porta-contêineres, alta velocidade;

Curva Potência Casco - Hélice



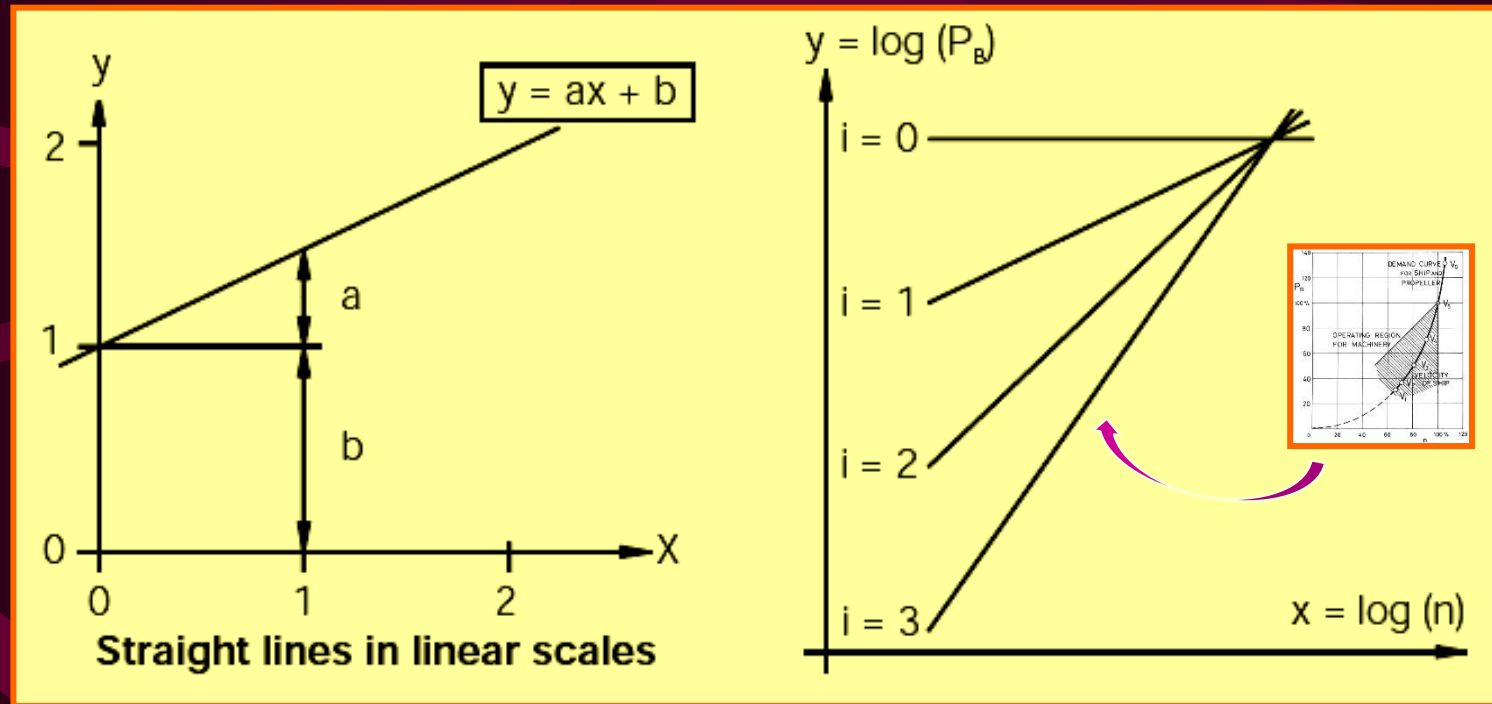
Curvas Características

$$P_{\text{Hélice}} = k_1 n^3$$

$$P_{\text{Motor}} = k_2 n$$

$$P_B = k n^i \Rightarrow \log(P_B) = i \log(n) + \log(k)$$

$$y = a x + b$$



Basic Principles of Ship Propulsion - MAN & BW

$$P_i = p_i \frac{\pi}{4} D^2 s n c$$

Motor Diesel - Características

- Motor diesel – Máquina de torque constante;
- Torque proporcional à pressão média efetiva;

• Pot = f(torque, rotação) $P_B = k Q n$

P_B – Potência Freio (“Brake power”)

$$P_B = \eta_M P_I$$

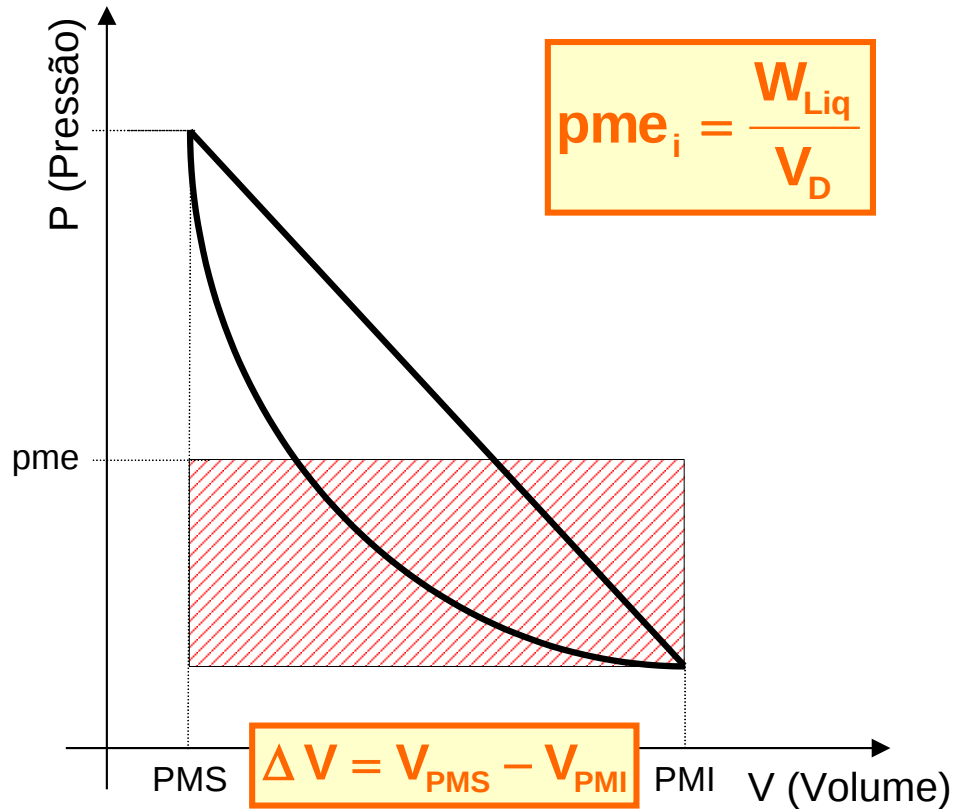
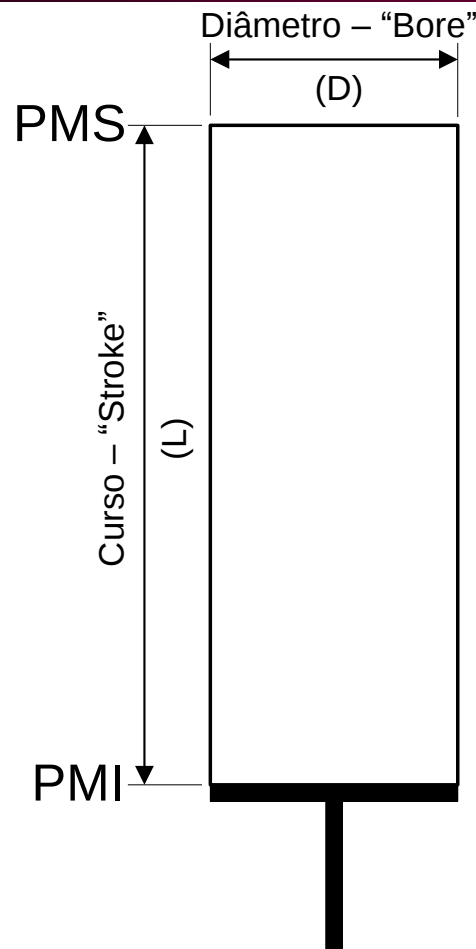
P_I – Potência Indicada

$$P_i = p_{me_i} \frac{\pi}{4} D^2 L n c$$

p_i – pressão média efetiva indicada
 D – Diâmetro (“bore”)
 L – Curso (s - “stroke”)
 n – rotação
 c – número cilindros

Expressão válida motores 2T; p/ 4T dividir por 2.

Motor Diesel - Características



$$P_{Cilindro} = pme_i \frac{\pi D^2}{4} L N$$

Diagrama de Carga

Características Motor

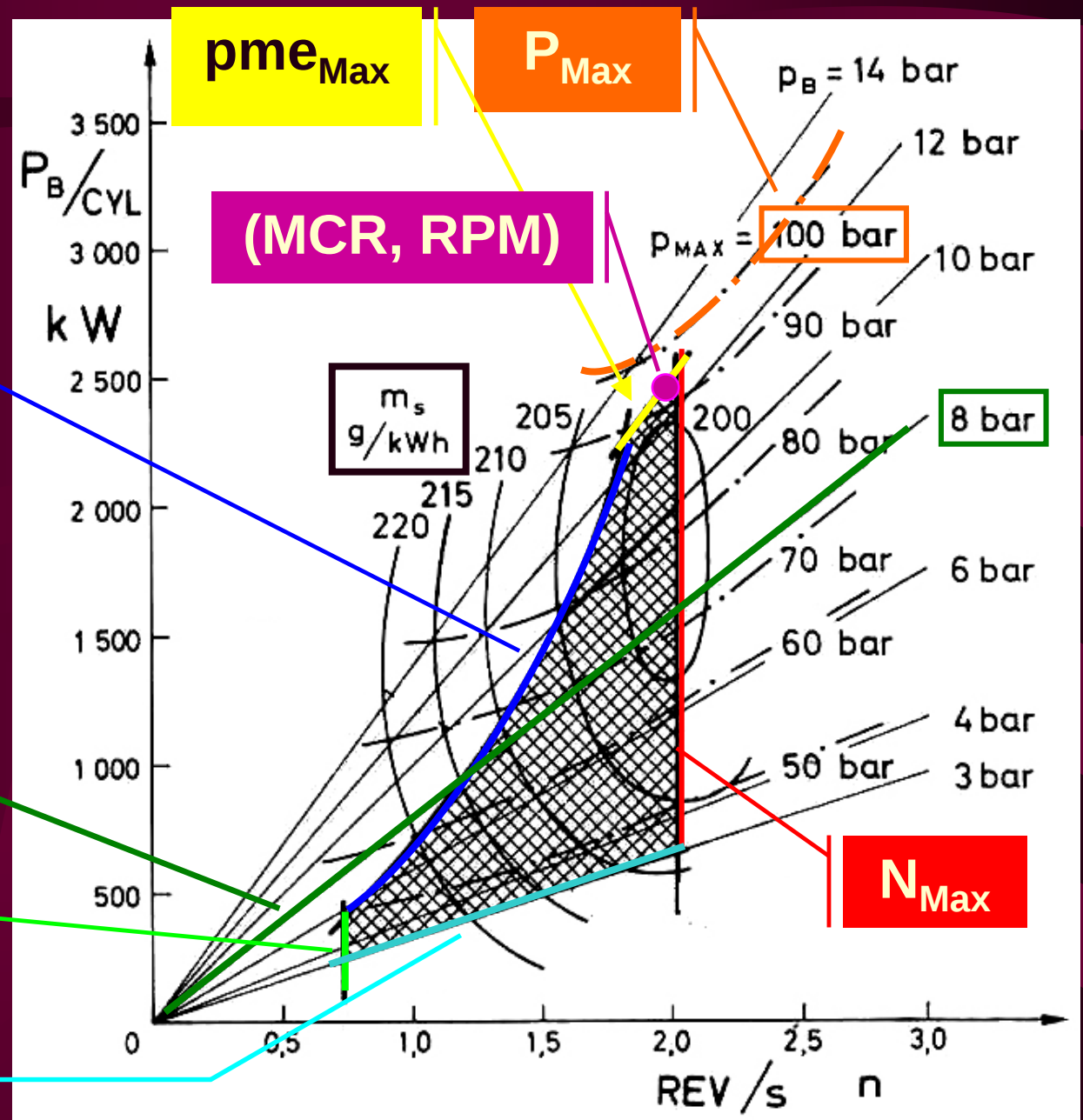
P_{BMax}

Limites Operação Motor

p_{me}

N_{Min}

$p_{me_{Min}}$

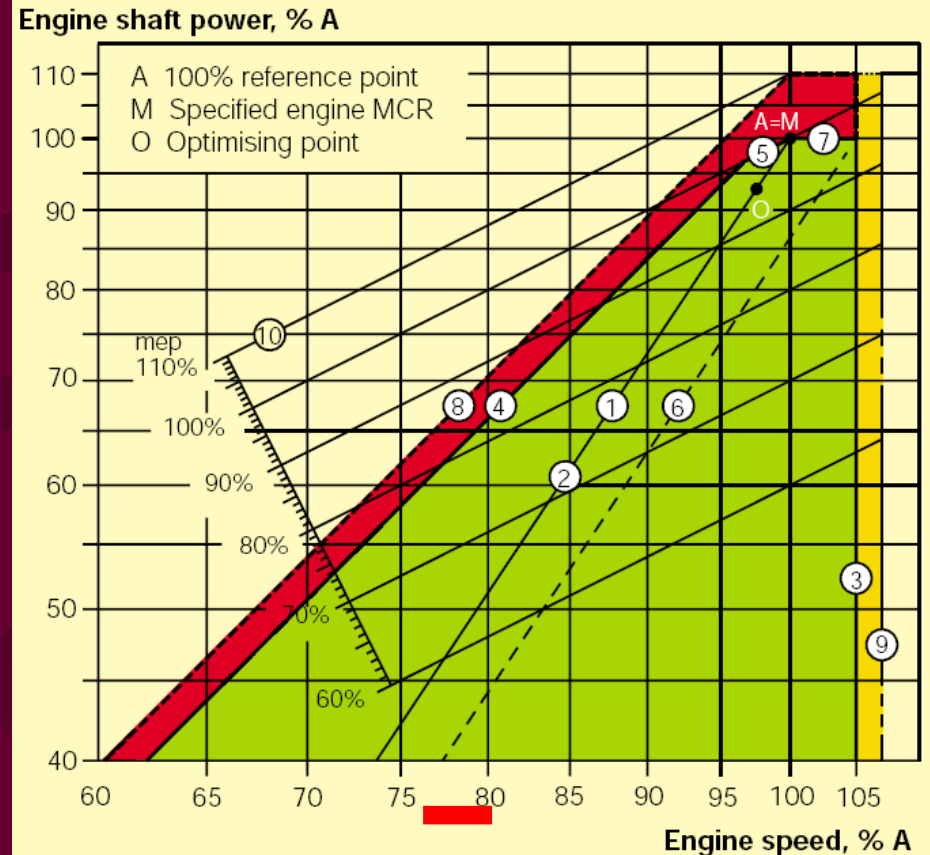
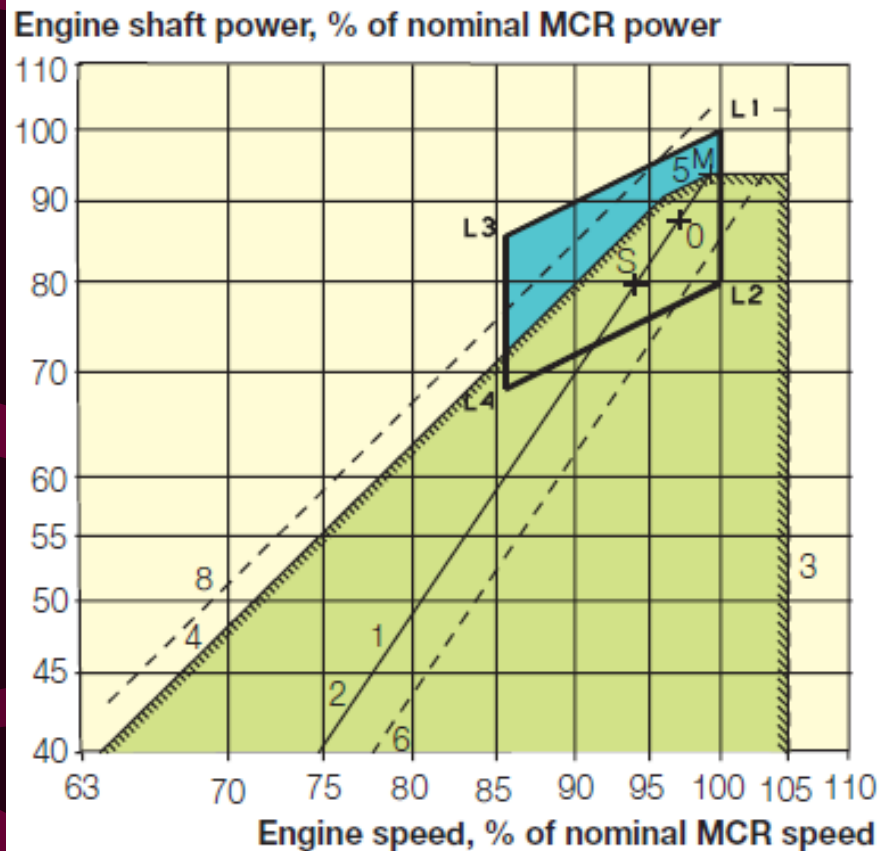


Características Motor

Limite Operação Motor

- **Rotação máxima (N_{Max}):** Efeitos dinâmicos,
- **Rotação mínima (N_{Min}):** Velocidade mínima para motores de baixa e média rotação - 25~30% RPM máxima (??),
- **Potência máxima, (P_B) $_{Max}$:** Limitação certas rotações, turbo não capaz fornecer suficiente ar para a combustão,
- **Pressão média mínima, pme_{Min} :** Baixa pressão, lubrificante destruído $\Leftarrow$ Óleo combustível, carbonização dos cilindros, temperatura baixa $\Rightarrow$ combustão deficiente,
- **Pressão máxima, P_{Max} ,**
- **Pressão média efetiva máxima (pme_{Max}):** Parâmetros projeto do motor (carga térmica, sistema turbo, experiência fabricante, etc.),
- **Pressão média efetiva, pme**

Diagrama de Carga ("Load")



Line 1: Propeller curve through optimising point (O) – layout curve for engine

Line 2: Heavy propeller curve – fouled hull and heavy seas

Line 3: Speed limit

Line 4: Torque/speed limit

Line 5: Mean effective pressure limit

Line 6: Light propeller curve – clean hull and calm weather – layout curve for propeller

Line 7: Power limit for continuous running

Line 8: Overload limit

Line 9: Sea trial speed limit

Line 10: Constant mean effective pressure (mep) lines

Diagrama de Layout

PD - Ponto projeto propulsor ("Propeller design")

SP - Ponto serviço contínuo
("Continuous service rating")

MP - Margem motor
("Specified propulsion point")

Curva 6

- Condições operação ótima, casco limpo/bom tempo, (“Light propeller curve” - LR),
- 3-7% maior rotações,

Curva 2

- Casco/propulsor (“foul”), (“Heavy Running” – HR),

Condições mar (“Sea Margin”)

- 15% potência projeto propulsor PD
- 20~30% grandes porta contêineres,

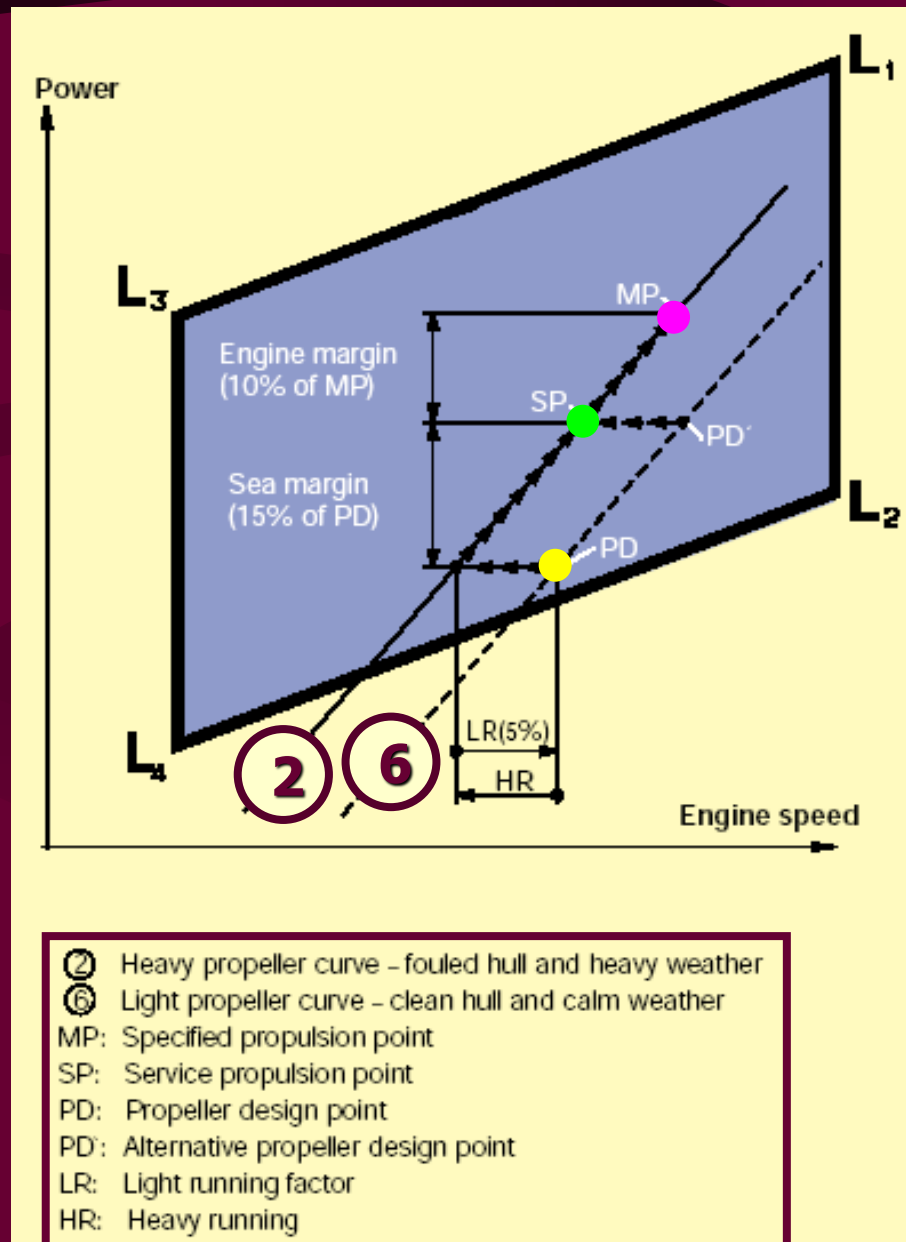
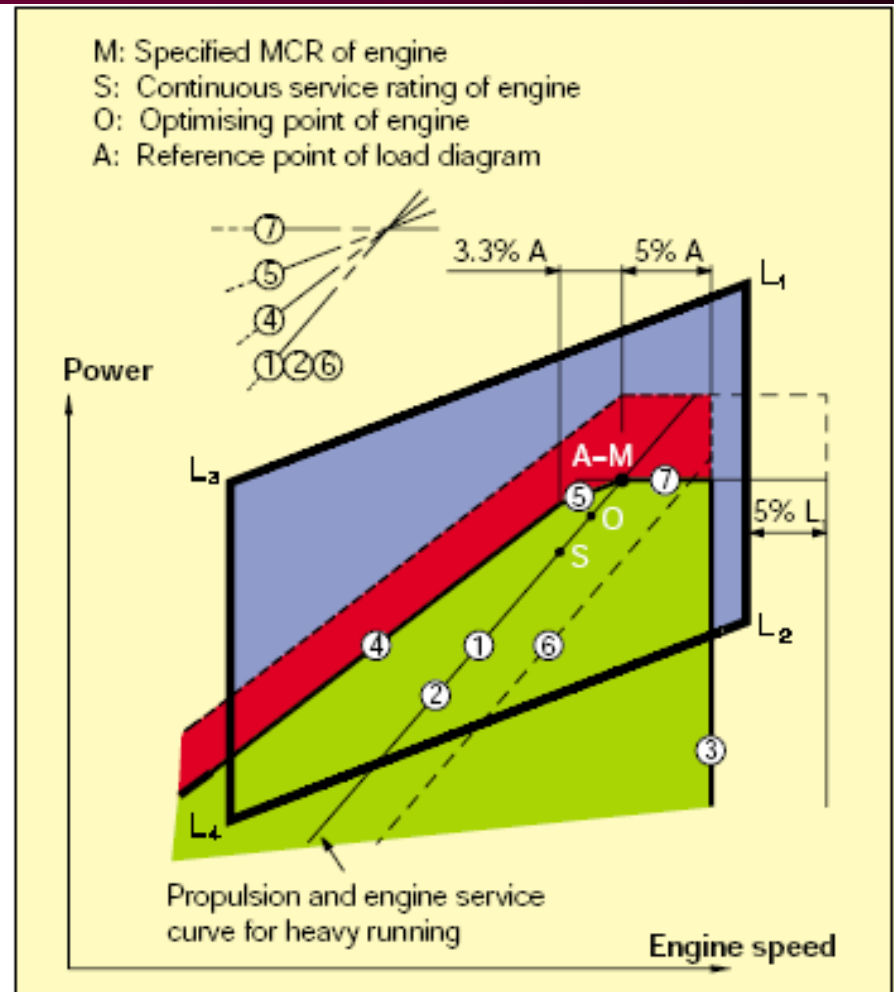
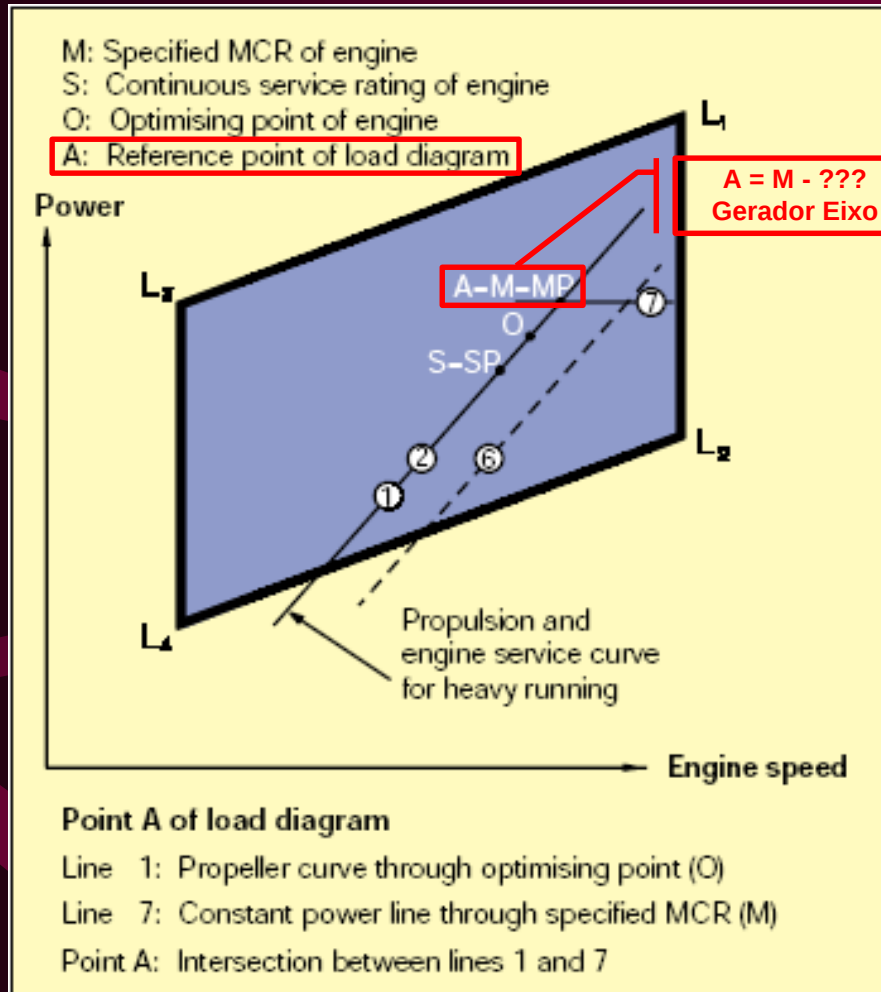
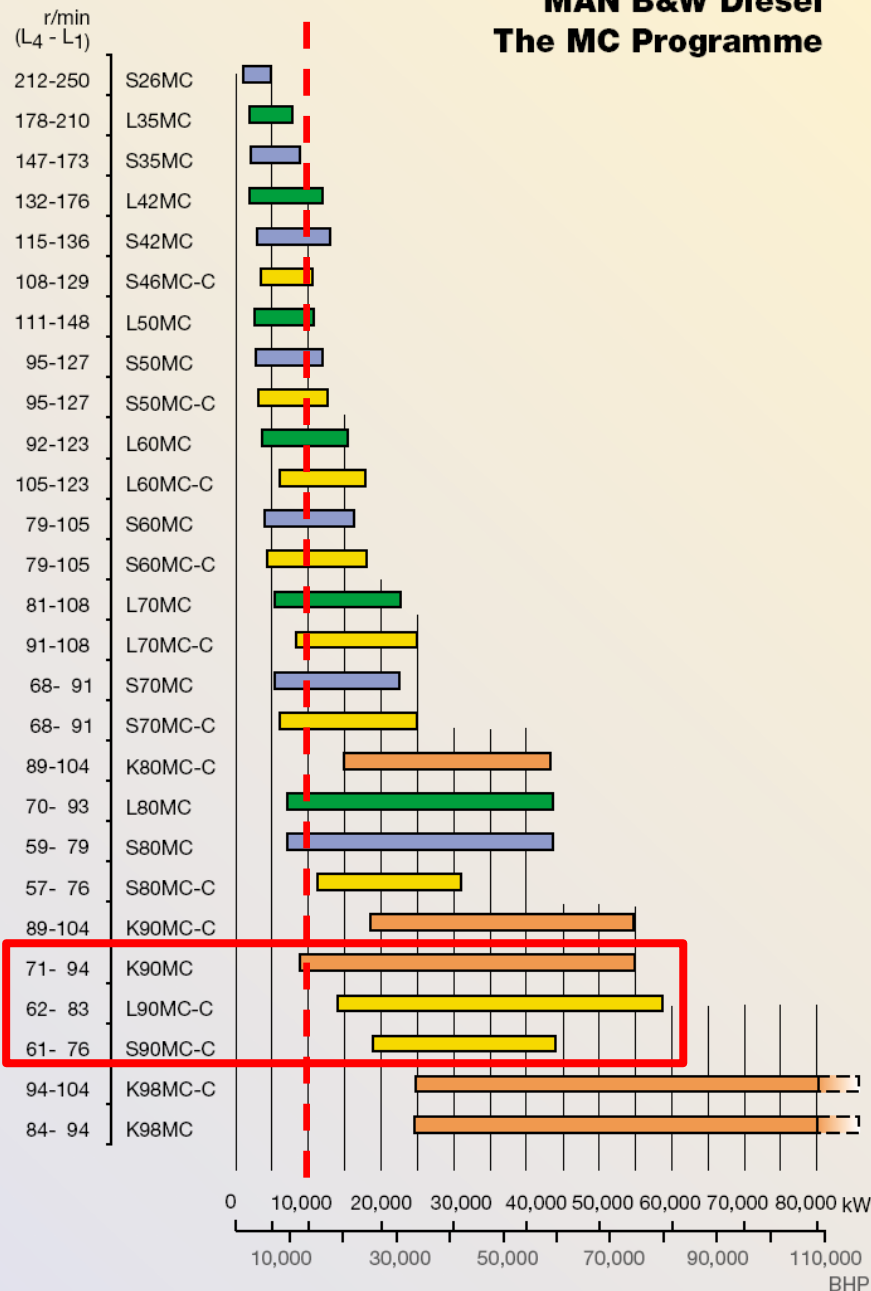


Diagrama de Layout / Load



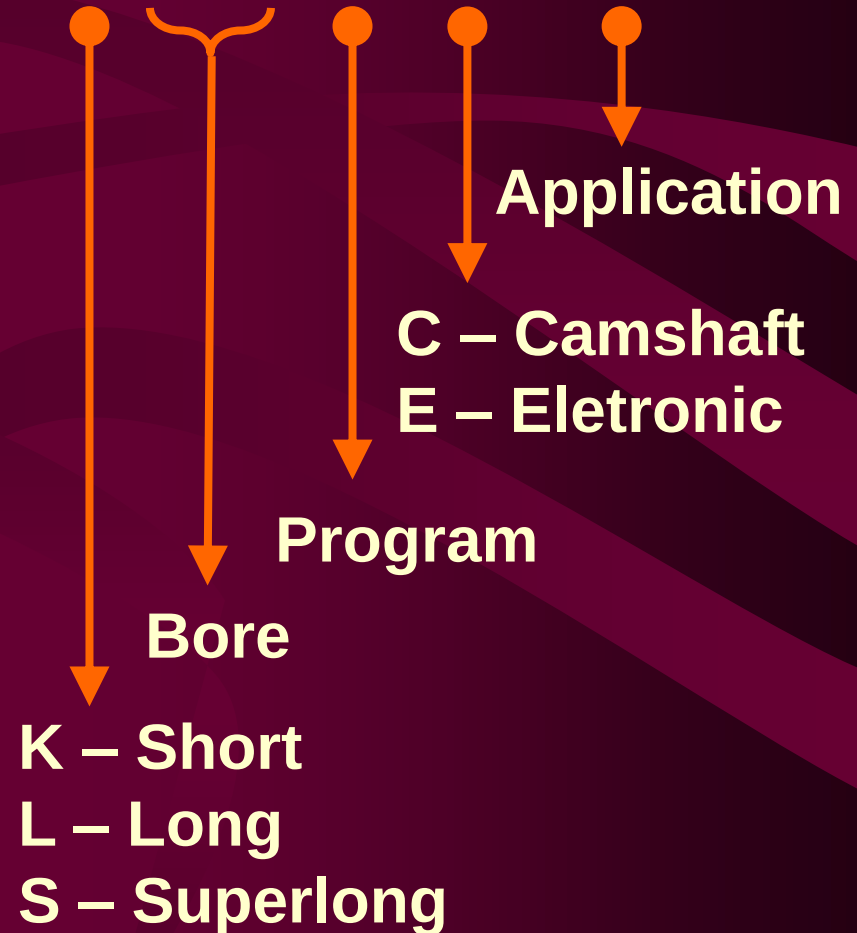
Basic Principles of Ship Propulsion - MAN & BW

MAN B&W Diesel The MC Programme



Motores MAN & BW

K70MC-C



Motores MAN & BW

Bore: 600 mm, Stroke: 2 400 mm

S60MC-C

Layout points	L ₁		L ₂	L ₃	L ₄
Speed r/min	105		105	79	79
mep bar	19.0		12.2	19.0	12.2
	kW	BHP	kW	kW	kW
4 S60MC-C	9 040	12 280	5 800	6 800	4 360
5 S60MC-C	11 300	15 350	7 250	8 500	5 450
6 S60MC-C	13 560	18 420	8 700	10 200	6 540
7 S60MC-C	15 820	21 490	10 150	11 900	7 630
8 S60MC-C	18 080	24 560	11 600	13 600	8 720

- Velocidade pistão: Restrição projeto (acelerações/inércia)

$$\bar{V}_{\text{Pistão}} = 2 N L$$

- Fabricantes: Motores diferentes – Aplicações distintas (navios);
- Relação curso/diâmetro – Navio tanque: 3,5 – 4,0;
Navio porta-container: 3,0

Motores MAN & BW

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

g/kWh	170	158	170	158
g/BHP _h	125	116	125	116

Lubricating oil consumption: approximately 5-6.5 kg/cyl. 24 h

Cylinder oil consumption: 0.95-1.5 g/kWh ~ 0.7-1.1 g/BHP_h

Cyl. No.	4	5	6	7	8
L _{min} mm	5 648	6 668	7 688	8 708	9 728
Dry mass ton*	263	314	358	410	467

- Consumo específico combustível $\Rightarrow$ Ensaio ISO (padronizado)
 - Temperatura ar ambiente,
 - Pressão ar ambiente,
 - Valor calorífico do combustível (lower calorific value),
 - Temperatura ar de escape de refrigeração (“scavenging”),

Motores MAN & BW

SFOC calculations, example

Valid for standard high-load optimised engine	
Data at nominal MCR (L_1): 6S50ME-C9.5-TII	
Power 100%	10,680 kW
Speed 100%	117 r/min
Nominal SFOC:	
• high efficiency turbocharger	169.0 g/kWh

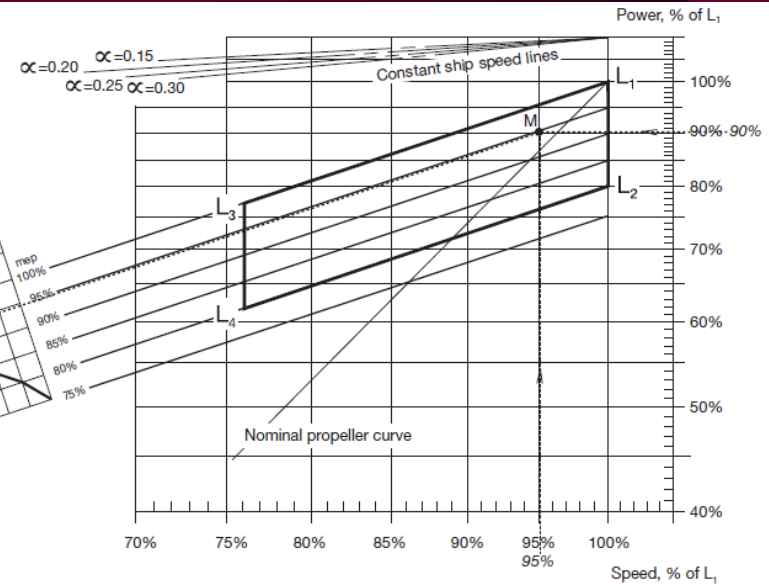
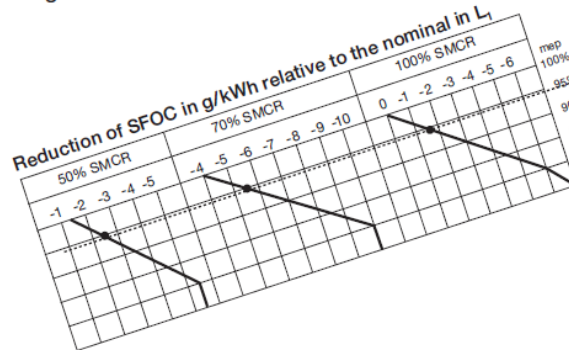
Example of specified MCR = M

Power	9,612 kW (90.0% L_1)
Speed	111.2 r/min (95.0% L_1)
Turbocharger type	high efficiency
SFOC found in M	167.4 g/kWh

The SMCR point M used in the above example for the SFOC calculations:

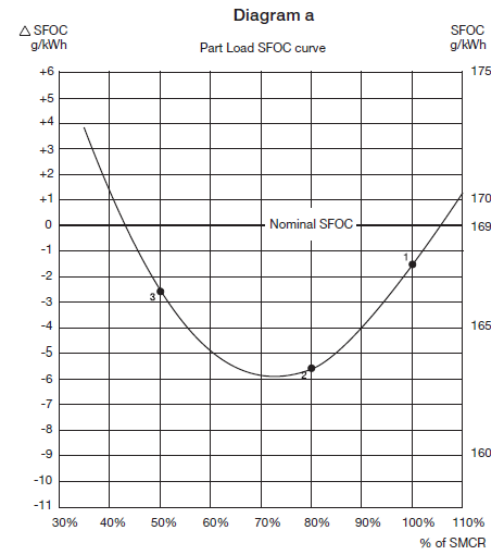
M = 90.0% L_1 power and 95.0% L_1 speed

Diagram b



The reductions, see diagram b, in g/kWh compared to SFOC in L_1 :

Part load points		SFOC g/kWh	SFOC g/kWh
1	100% M	-1.6	167.4
2	70% M	-5.5	163.5
3	50% M	-2.5	166.5

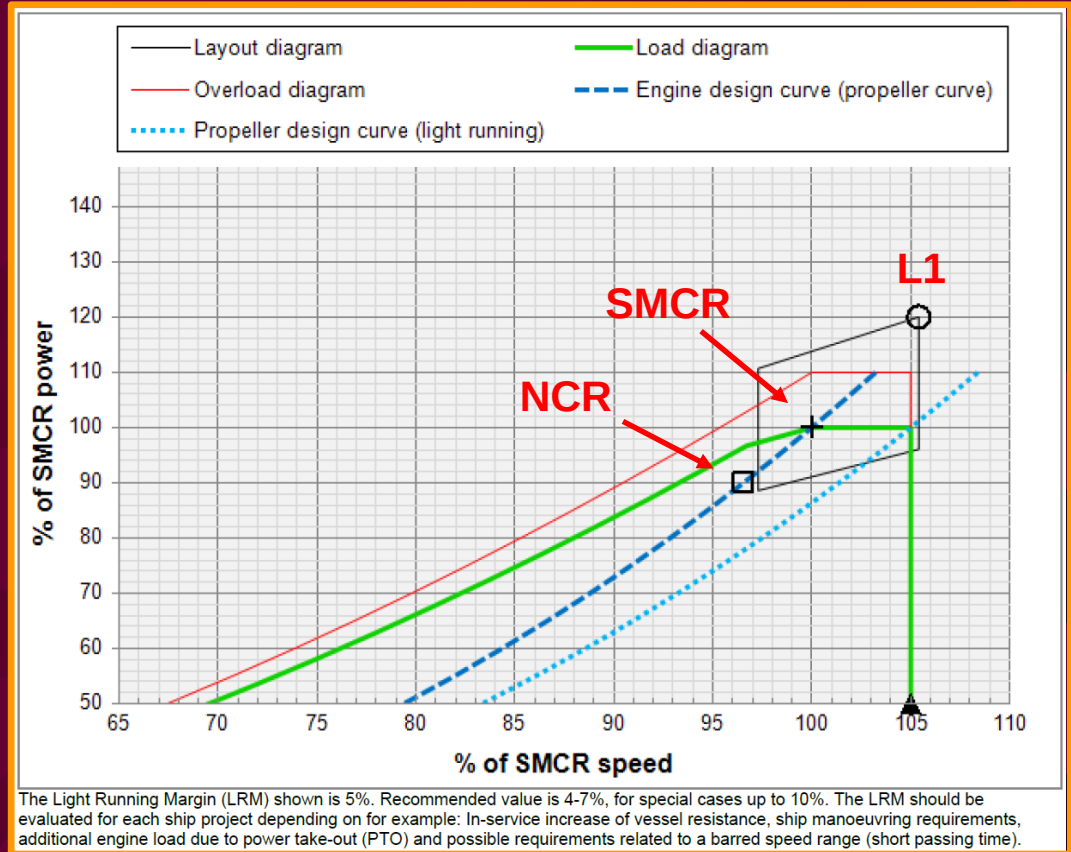


Motores MAN & BW

MAN Energy Solutions



CEAS Engine Data report 7S80ME-C9.5 HL with scrubber



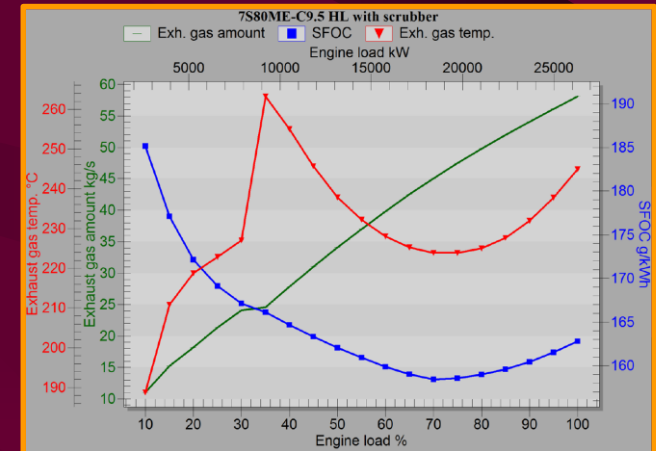
Point		Power kW	Speed r/min	MEP Bar
+	SMCR: Specified Maximum Continuous Rating (83.3% of NMCR)	26,305	74.0	17.6
□	NCR: Normal Continuous Rating (90.00% of SMCR)	23,675	71.4	16.4
	Maximum over load (110% of SMCR)	28,936	-	-
▲	Maximum speed limit (105% of SMCR)	-	77.7	-
○	L1, NMCR: Nominal Maximum Continuous Rating	31,570	78.0	20.0

Motores MAN & BW

Fuel consumption and exhaust gas data Fuel Oil, Tier II mode

SMCR

ISO ambient conditions (ambient air: 25 °C, scavenge air coolant: 25 °C)						
Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ¹⁾ °C	Steam ²⁾ kg/h
100	26,305	74.0	162.8	58.1	245	5,180
95	24,990	72.7	161.5	56.1	238	4,580
90	23,675	71.4	160.5	54.1	232	4,080
85	22,359	70.1	159.6	52.0	228	3,690
80	21,044	68.7	159.0	49.8	225	3,410
75	19,729	67.2	158.6	47.5	224	3,220
70	18,414	65.7	158.4	45.0	224	3,090
65	17,098	64.1	159.0	42.5	225	3,030
60	15,783	62.4	159.9	39.8	228	3,010
55	14,468	60.6	160.9	37.0	232	3,040
50	13,153	58.7	162.1	34.1	238	3,090
45	11,837	56.7	163.3	31.0	246	3,190
40	10,522	54.5	164.7	27.8	255	3,260
35	9,207	52.2	166.1	24.6	263	3,210
30	7,892	49.5	167.1	21.4	277	1,940
25	6,576	46.6	169.1	18.2	293	1,610
20	5,261	43.3	172.1	15.2	311	810
15	3,946	39.3	177.1	11.0	389	0
10	2,631	34.3	185.1	11.0	389	0



Motores MAN & BW

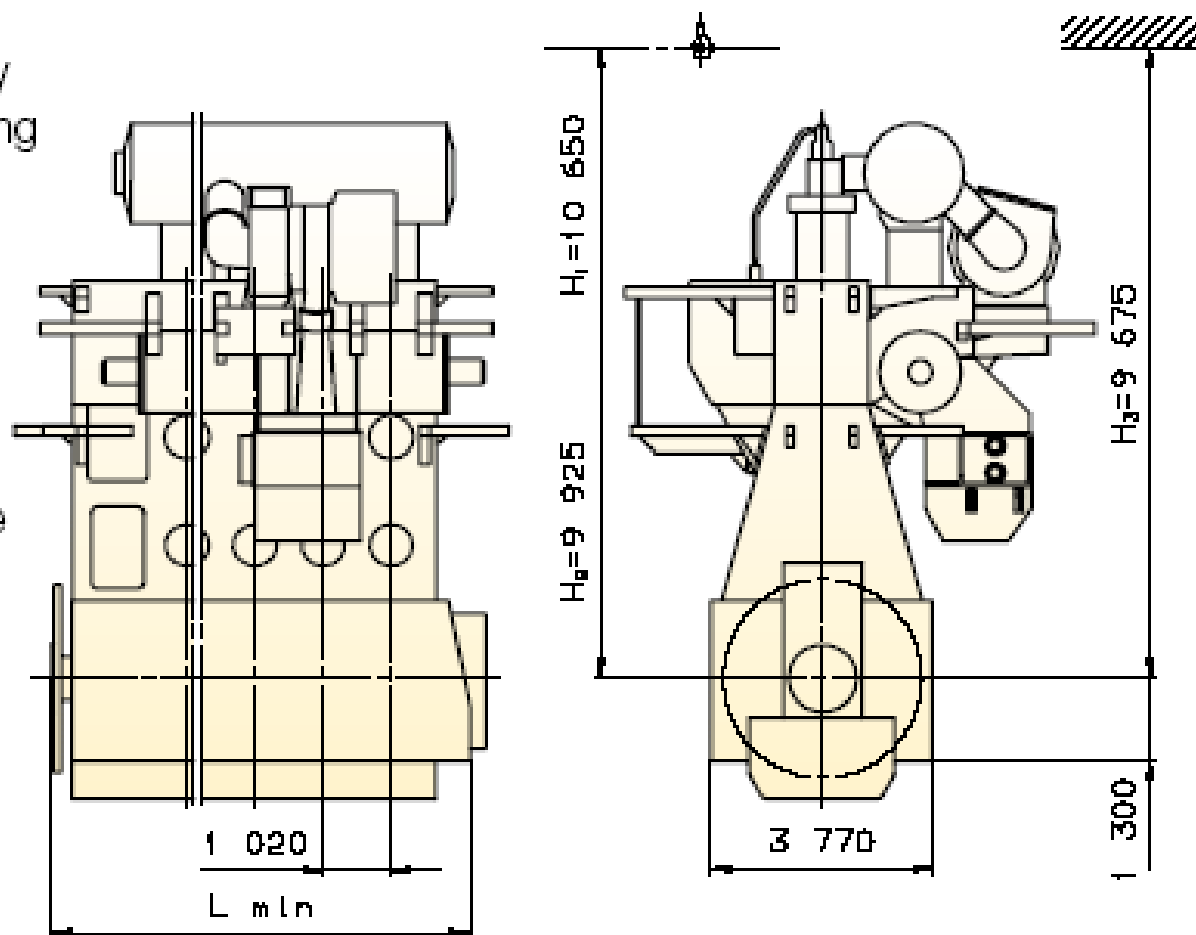
Dimensões

* The mass can vary up to 10% depending on the design and options chosen.

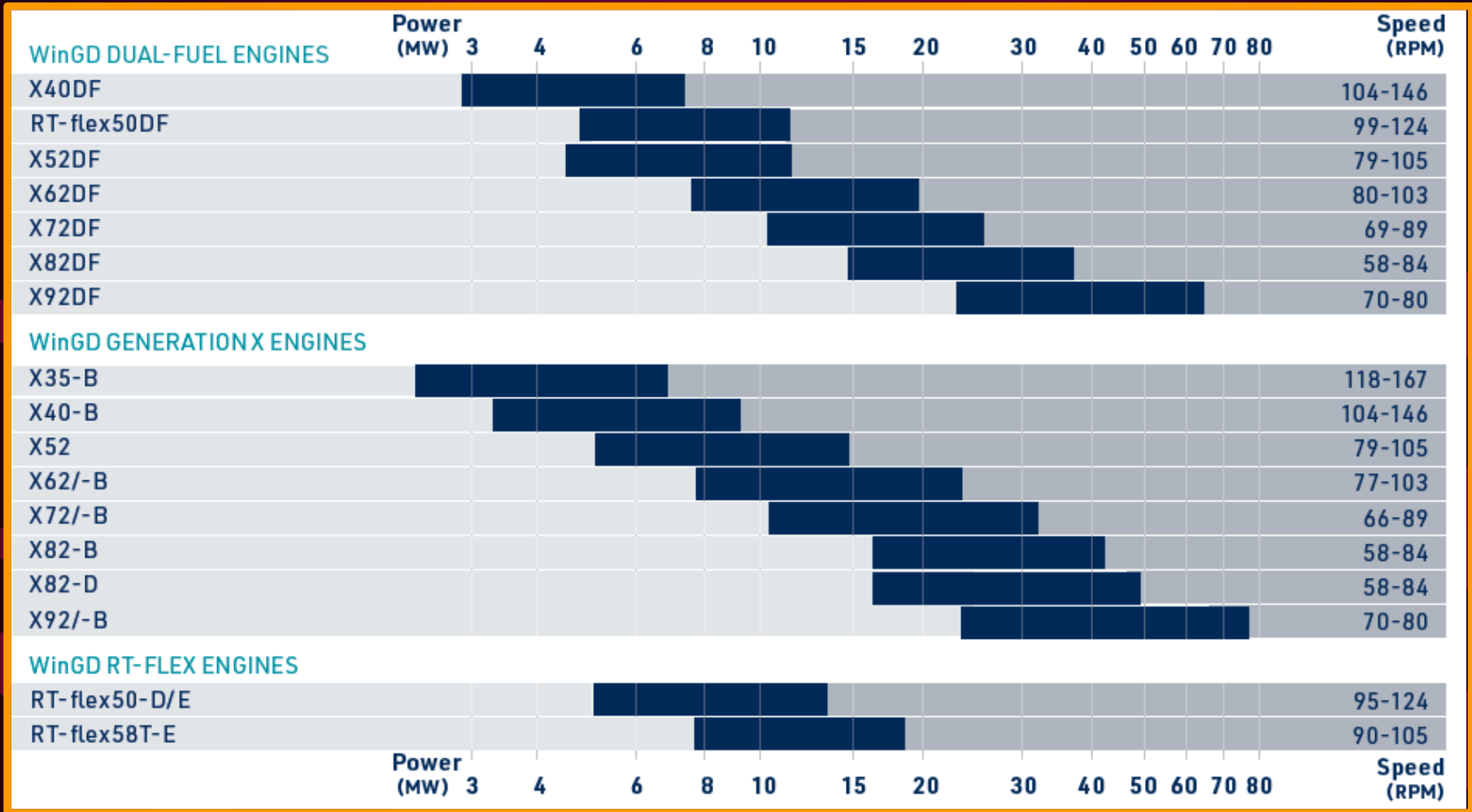
H₁: Vertical lift

H₂: Tilted lift

H₃: With electrical double jib crane



Motores Win GD (Wärtsilä)



Motores Wärtsilä

Wärtsilä X92

	IMO Tier II
Cylinder bore	920 mm
Piston stroke	3468 mm
Speed	70–80 rpm
Mean effective pressure at R1/R1+	21.0/20.0 bar
Stroke / bore	3.77

Rated power, principal dimensions and weights

Cyl.	Output in kW at				Length A mm	Weight tonnes
	76/80 rpm		70 rpm			
	R1 / R1+	R2 / R2+	R3	R4		
6	36 780	26 520	33 900	24 420	11 630	1 120
7	42 910	30 940	39 550	28 490	13 210	1 260
8	49 040	35 360	45 200	32 560	16 350	1 460
9	55 170	39 780	50 850	36 630	17 850	1 630
10	61 300	44 200	56 500	40 700	19 520	1 790
11	67 430	48 620	62 150	44 770	21 280	1 960
12	73 560	53 040	67 800	48 840	22 870	2 140

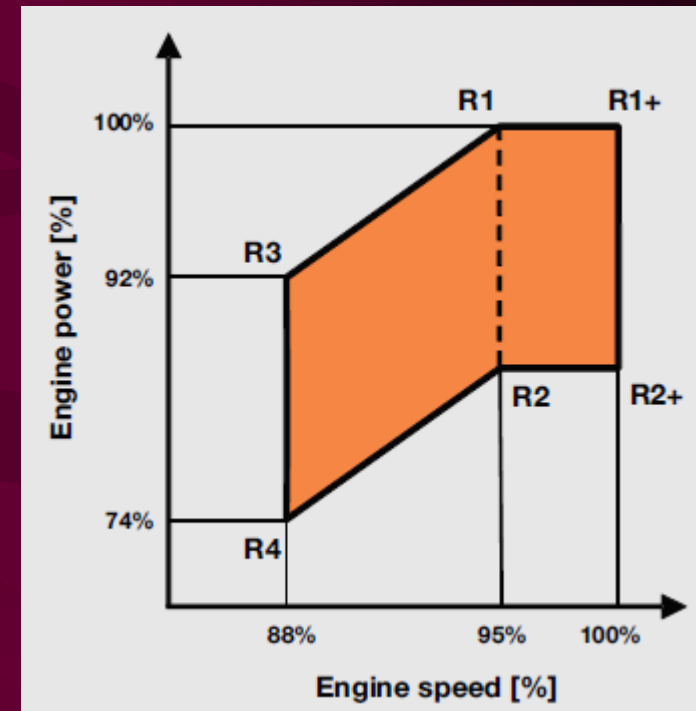
Dimensions mm	B	C	D	E
	5550	1900	12 950	6050
	F1	F2	F3	G
	15 420	15 450	14 240	2930

Brake specific fuel consumption (BSFC) in g/kWh

Full load

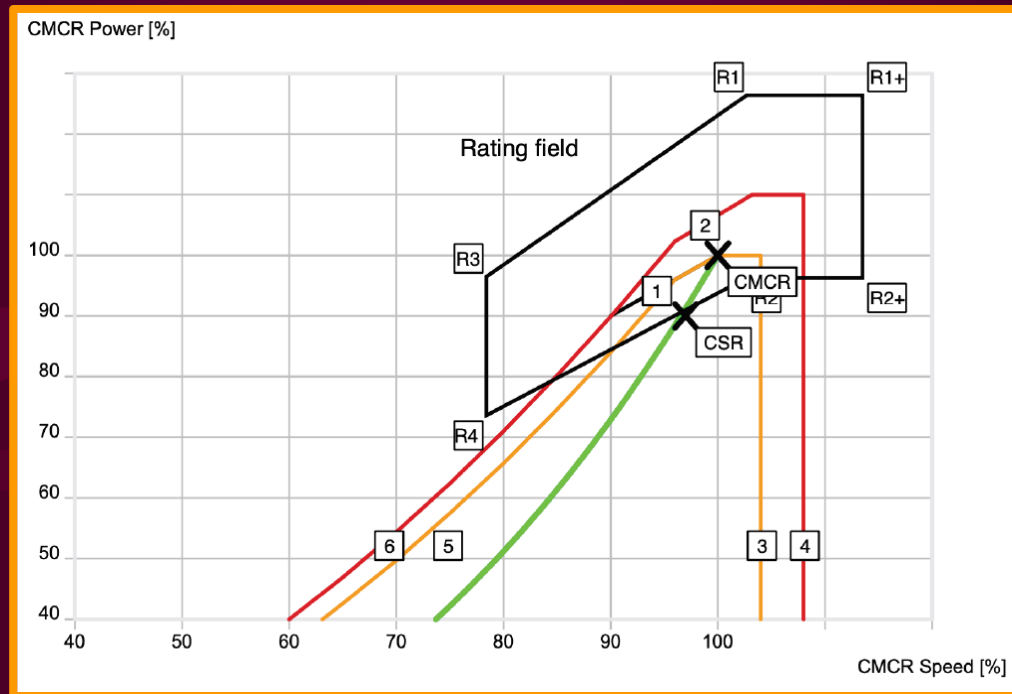
Rating point		R1/R1+	R2/R2+	R3	R4
BMEP, bar		21.0/20.0	15.1/14.4	21.0	15.1
BSFC	Standard Tuning	166/165	159	166	159

Part load, % of R1/R1+	85	70	85	70	65
Tuning variant	Standard	Standard	Delta	Delta	Low-Load
BSFC	162.4/161.4	162.0/161.0	161.7/160.7	160.5/159.5	157.2/156.4



Motores Win GD

Motor WinGD 7X82-B



Main engine	7X82-B
MCR (R1)	33250 kW / 84.0 rpm
CMCR	26305 kW / 74.0 rpm
CSR (90.0% of CMCR)	23675 kW / 71.4 rpm
MEP at 100% CMCR	17.1 bar

- Line 1: Constant MEP
- Line 2: Overload limit
- Line 3: 104% speed limit
- Line 4: 108% overspeed limit
- Line 5: Admissible torque limit
- Line 6: Maximum torque limit in transient conditions
- Nominal propeller characteristic