3. Potencia

Otro de los factores esenciales a la hora de proceder a una comparación de motores radica en una definición exacta de la potencia, homogeneizando las condiciones en que la misma se define para cada fabricante. Para ello, lo normal es tomar como condiciones estándar las llamadas condiciones tropicales ISO 3046/I, que son las siguientes:

Temperatura del aire de aspiración:	45 ºC
Temperatura del agua salada a la entrada al refrigerador de aire:	32 ºC
Presión barométrica:	1 bar

Estas condiciones son las normales para cualquier tipo de motor y aplicación civil. En aplicaciones militares, estas condiciones pueden variar en función de la zona operativa del buque, del sistema de escape (Si se van a montar solo silenciosos de escape, o en adición se van a instalar supresores de infrarrojos), y del sistema de aspiración (Si se van a montar silenciosos de aspiración), porque la instalación puede requerir altas pérdidas de carga en la aspiración y el escape, que redundarán en una disminución de la potencia del motor. Por estas razones, es muy importante conocer cuales son la máxima depresión de aspiración y contrapresión de escape que ofrece el fabricante sin que haya disminución de potencia. Es preciso tener en cuenta que condiciones ambientales diferentes para la definición de la potencia, pueden dar lugar a variaciones en el consumo específico de combustible a varias cargas.

Además, cada potencia está biunivocamente unida a un perfil operativo y a un TBO. No es admisible que se de una potencia sin estos dos parámetros, que son esenciales a la hora de definirla. Únicamente para aquellos motores susceptibles de uso continuo puede darse una potencia sin indicación del perfil operativo, pero, en todo caso, siempre hay que facilitar el TBO del motor, o cuando menos, la vida media de los elementos más importantes del mismo (Camisas de cilindro, culatas, válvulas de admisión y escape, inyectoras, levas o ejes de levas, etc.)

A continuación se dan dos ejemplos de cómo hay que definir la potencia de un motor, correspondientes a un motor MTU y a un motor MAN B&W.

Engine Power Rating

1007 kW *[1350 bhp]* at 2300 rpm
(Continuous Power ICFN)

The engine power represents the net brake power according to ISO 3046 at the PTO flange.

To calculate the available power at the gearbox output flange, a gearbox efficiency of 0.97 must be taken into account.

Reference Conditions

- Intake air temperature 25 °C
- Raw water temperature 25 °C
- Barometric pressure 1000 mbar
- Intake air depression 15 mbar
- Exhaust back pressure 30 mbar

1.5 % derating at
45 °C intake air temperature and
32 °C raw water temperature:
(approx. 1.5 % fuel consumption increase)

TBO (time between major overhauls)	6,000 hrs	
Standard load profile (P, t)	P	t
[P = Load referred to fuel stop power (%)]	100	10
[t = Portion of operating time (%)]	70	70
	<15	20

Fig. 9 Datos de potencia del motor MTU 12V 2000 M90

Available outputs/ related reference conditions	Nominal output according to Project Guide (MCR= max. continous rating)	Fuel stop power	Speed reduction at maximum torque	Tropic conditions (t_r/tcr/pr=100kPa)	Other conditions
	%	%	%	°C	-
Electricity generation					
Auxiliary engines in ships	100	110	-	45/38	1)
Marine main engines (with mechanical or Diesel electric drive)					
Main drive with fixed-pitch propeller	90	90	10	45/38	2)
Main drive with controllable pitch propeller	100	100		45/38	-
Main drive generator	100	110	-	45/38	1)
Suction dredger/pumps (mechanical drive)					
6L - 9L, 12V, 14V, 16V, 18V 32/40	90	90	30	45/38	2)
6L - 10L, 12V, 14V, 16V, 18V 32/44 CR	90	90	30	45/38	2)
20V 32/44 CR	90	90	23	45/38	2)
40/54, 48/60B, 58/64	90	90	30	45/38	2)

Available outputs / related reference conditions

1) Blocking of the output for engines, driving a generator, at 110% of the rated output. Overload >100% may only be run for a short time to compensate for a frequency drop when a load is applied

2) Special turbocharger matching required - additional fuel consumption necessary

t_r Air temperature at blower intake

t_{cr} Cooling water temperature before charge air cooler

p_r Barometric pressure

Engine L 32/44 CR

Engine ratings

Engine type No. of cylinders		720rpm 1)		750rpm	
		kW	HP	kW	HP
6L 32/44 CR	6	3,360	4,570	3,360	4,570
7L 32/44 CR	7	3,920	5,330	3,920	5,330
8L 32/44 CR	8	4,480	6,090	4,480	6,090
9L 32/44 CR	9	5,040	6,850	5,040	6,850
10L 32/44 CR 2)	10	5,600	7,620	5,600	7,620

1) Speed 720 rpm available for generator drive only

2) 10 L 32/40 engine is not available for the application: generator, rigidly coupled

3) This concession may possibly be restricted, see Chapter 2.1.3.2 "Available outputs dependent on frequency deviations"

Power take-off on engine free end up to 100% of rated output.

Fig. 10 Datos de potencia del motor MAN 32/44CR

Part-load operation

Definition

Generally the following load conditions are differentiated:

- Over-load (for regulation): >100 % of full load output
- Full-load: 100 % of full load output
- Part-load: <100 % of full load output
- Low-load: <25 % of full load output

Correlations

The ideal operating conditions for the engine prevail under even loading at 60 % to 90 % of the full-load output. Engine control and rating of all systems are based on the full-load output.

In the idling mode or during low-load engine operation, combustion in the cylinders is not ideal. Deposits may form in the combustion chamber, which result in a higher soot emission and an increase of cylinder contamination.

Moreover, in low-load operation and during manoeuvrung of ships, the cooling water temperatures cannot be regulated optimally high for all load conditions which, however, is of particular importance during operation on heavy fuel oil.

Better conditions

Engines are genuinely better equipped for low-load operation

- if they have a two-stage charge-air cooler, the second stage of which can be switched off in order to improve the operating data or
- if they have a two-stage charge-air cooler and switch-over from HT to LT has been provided for, permitting the admission of HT water to the LT stage.

HT: High temperature
LT: Low temperature

Operation on heavy fuel oil

Because of the aforementioned reasons, low-load operation <20 % of full load output on heavy fuel oil is subjected to certain limitations. According to *Figure 2-1, Page 2-10*, the engine must, after a phase of part-load operation, either be switched over to Diesel operation or be operated at high load (>70 % of full load output) for a certain period of time in order to reduce the deposits in the cylinder and exhaust gas turbocharger again.

In case the engine is to be operated at low-load for a period exceeding that shown in *Figure 2-1, Page 2-10*, the engine is to be switched over to Diesel oil operation beforehand.

For continuous heavy fuel oil operation at part loads in the range <25 % of the full engine output, co-ordination with MAN Diesel is absolutely necessary.

Operation on Diesel fuel

For low-load operation on Diesel fuel oil, the following rules apply:

- A continuous operation below 15 % of full load is to be avoided, if possible.

  Note: Should this be absolutely necessary, MAN Diesel has to be consulted for special arrangements (e.g. the use of part-load injection nozzles).
- A no-load operation, especially at nominal speed (generator operation) is only permitted for a maximum period of 1...2 hours

No limitations are required for loads above 15 % of full load, as long as the specified operating data of the engine will not be exceeded.

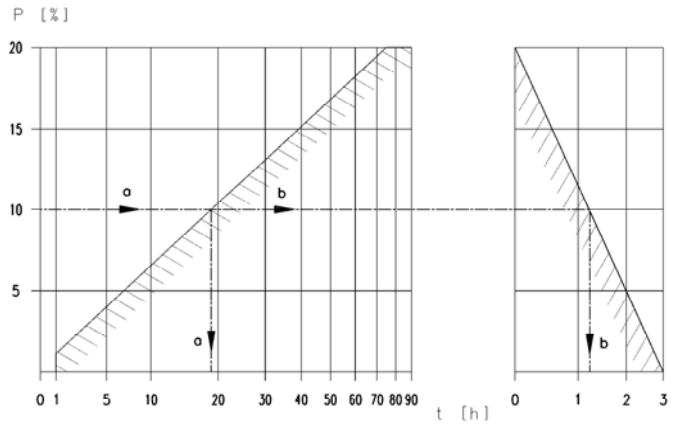

Figure 2-1 Time limits for part-load operation on heavy fuel oil (on the left), duration of "relieving operation"(on the right)

P Full load output [%]

t Operating period [h]

Explanations

- Figure on the left:

  Time limits for part-load operation on heavy fuel oil
- Figure on the right:

  Necessary operation time at >70 % of full-load output after part-load operation on heavy fuel oil.
  Note: Acceleration time from present output to 70 % of full-load output not less than 15 minutes.

Example

Line a:

At 10 % of full-load output, HFO operation is permissible for maximum 19 hours, then switch over to Diesel fuel oil, or

Line b:

Operate the engine for approx. 1.2 hours at not less than 70 % of full-load output to burn away the deposits that have formed. Subsequently, part-load operation on heavy fuel oil can be continued.

Fig. 11 Datos de funcionamiento a carga parcial del motor MAN 32/44CR

Definition of engine rating

General definition of Diesel engine rating (according to ISO 15550: 2002; ISO 3046-1: 2002)

Reference Conditions: ISO 3046-1: 2002; ISO 15550: 2002		
Air temperature T_r	K / °C	298 / 25
Air pressure p_r	kPa	100
Relative humidity Φr	%	30
Cooling water temperature upstream charge air cooler t_{cr}	K / °C	298 / 25

Table 2-16 Standard reference conditions

No de-rating required in case of:

Air temperature . . . . . ≤318 K (45 °C)
+ Air pressure . . . . . 100 kPa
+ Cooling water temperature
upstream of charge–air cooler ≤311 K (38 °C)
+Relative humidity Φr . . . . . ≤60 %
+Exhaust gas overpressure
after turbine . . . . . .≤3 kPa

Marine main engines

Blocking of the output is made for engines *driving a propeller,* at 100 % of the rated output.

Blocking of the output is made for engines *driving a generator,* at 110 % of the rated output.

Overload >100 % may only be run for a short time for recovery and preventing a frequency drop in case of load application.

Marine auxiliary engines

Blocking of the output is made at 110 % of the rated output.

Overload >100 % may only be run for a short time for recovery and preventing a frequency drop in case of load application.

Fig. 12 Datos de definición de potencias del motor MAN 32/44CR

4. Datos de partida

Este es uno de los temas más controvertidos. Lo más exacto a la hora de tomar datos de un motor es tomarlos del catálogo oficial del fabricante, o bien del Project Planning Manual, o de las publicaciones denominadas TVU (Technische Verkaufsunterlagen). Si no se dispone de estas publicaciones, es esencial disponer de los catálogos de los fabricantes en su última edición, y los datos que no figuren en los mismos deben ser confirmados o recibidos siempre por escrito.

Los datos de homologaciones deben llevar los sellos de la entidad homologadora. Bajo ningún concepto son válidos certificados emitidos por el propio fabricante. Son esenciales los porcentajes de disminución de la potencia en función de las condiciones ambientales, así como los de corrección del consumo de combustible en función del tipo del mismo y de las condiciones ambientales.

La persona que se dedique a estos temas en cualquier astillero debe preparar, si no existe, una base de datos lo más amplia posible de motores, con todo tipo de datos, actualizándola, como mínimo, con carácter bianual.

5. Curvas del Motor

Es esencial conocer el significado de las curvas de un motor diesel. Para repasar los conceptos, ya indicados anteriormente, a continuación se resumen las principales características de estas curvas.

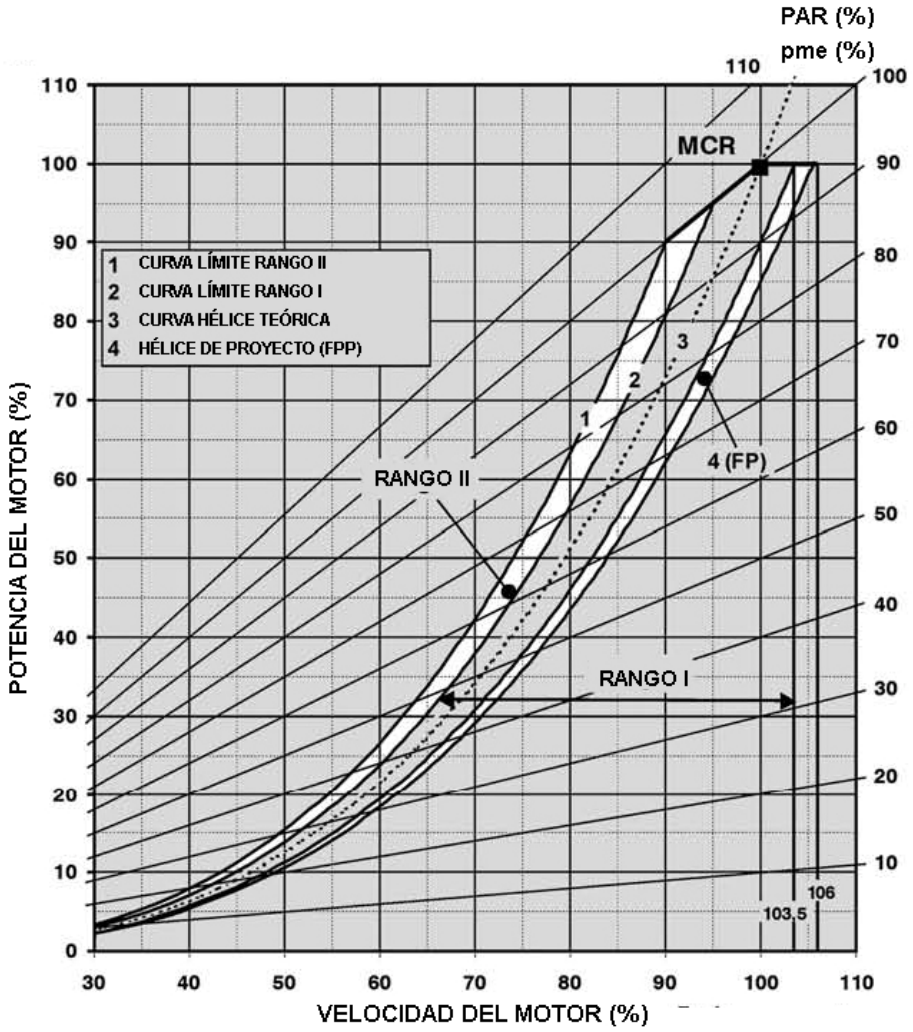

Fig. 13 Curva típica de un motor diesel de 4 Tiempos accionando una hélice de paso fijo

En la Figura 13 se representa la curva típica de un motor propulsor de 4 Tiempos con una hélice de paso fijo (FPP). En esta curva, es necesario insistir en varios conceptos:

- Todos los motores propulsores se prueban en banco hasta una potencia del 110% de la potencia nominal, a una velocidad máxima del 103,5% de la velocidad nominal.
- MCR = Potencia Máxima Continua (Alimentación de Combustible Bloqueada 0 Fuel Stop power). Esta definición es solo válida para motores no estadounidenses.
- RANGO I = Zona de funcionamiento para servicio continuo apropiada para una hélice con una ligereza de 1,5 – 3%. Siempre se debe elegir la hélice con menor valor.
- RANGO II = Zona de funcionamiento admisible temporalmente, para aceleraciones, maniobras (Par Límite)
- La Curva teórica de la hélice se aplica a buque en condición de plena carga, tras un discreto y apropiado periodo de funcionamiento, y no en pruebas del buque.
- FP = Hélice de Paso Fijo, proyectada para proporcionar el empuje adecuado durante las condiciones contractuales de pruebas (Tales como climatología, estado de la mar, carga parcial, profundidad del agua, etc.), con una velocidad del motor comprendida entre 103 y 106% de la velocidad nominal, admisible durante un periodo máximo de 1 hora.

Es preciso tener en cuenta que motor puede sobrecargarse por:

- Par
- Velocidad
- Potencia

Las diferentes rectas que parten del origen, y que aparecen marcadas en la parte derecha de la figura, numeradas entre 10 y 100%, corresponden a las rectas de Par constante, que al mismo tiempo son de presión media efectiva constante, ya que:

$$PAR = f\left(\frac{Potencia}{Velocidad}\right)$$

y

$$Potencia = f_1(p.m.e.)$$

Para ello, es preciso que el punto de funcionamiento esté siempre comprendido en el interior del área denominada RANGO I. Solo bajo circunstancias especiales, y durante un pede tiempo determinado (Normalmente 1 hora cada 12 horas de funcionamiento) se puede hacer funcionar el motor en el Rango II, so pena de sobrecargarlo, y, como primera consecuencia, disminuir el TBO del mismo.

Otra cuestión especialmente importante radica en la elección de la hélice. Nunca se debe elegir una hélice que en algún punto de la cúbica de la misma corte a la línea límite del área de funcionamiento del motor (RANGO I), so pena de que el motor, en ese punto de corte se pare, ya que al cortar la curva de la hélice a la curva del motor, la hélice está demandando al motor una potencia superior a la que este puede desarrollar, y el motor se parará.

Un motor propulsor marino, accionando una hélice de palas orientables, presenta unas curvas del motor y de la hélice como las de la Figura 14.

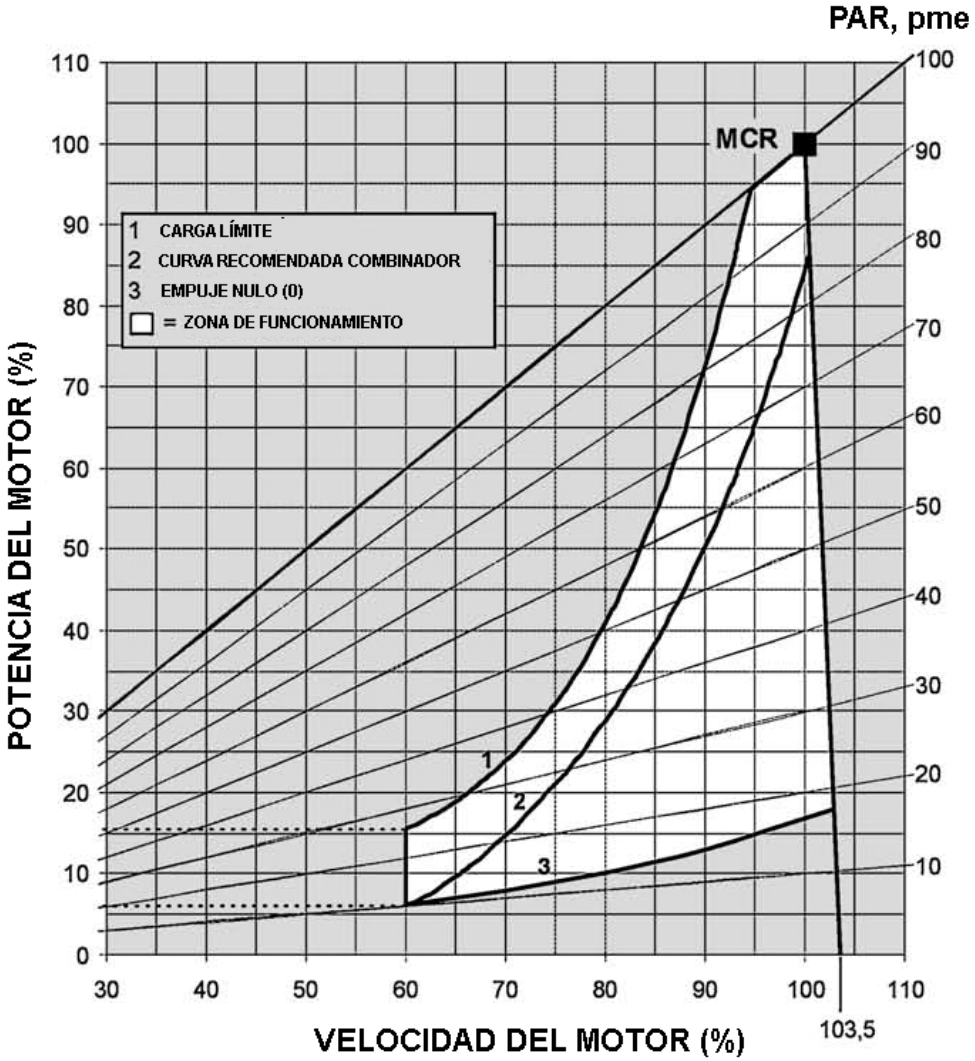

Fig. 14 Curva típica de un motor diesel de 4 Tiempos accionando una hélice de palas orientables

donde,

- MCR = Potencia Máxima Continua (Alimentación de Combustible Bloqueada 0 Fuel Stop power). Esta definición es solo válida para motores no estadounidenses.
- Zona en blanco del dibujo = Área recomendada de funcionamiento
- 1 = Curva de Carga Límite
- 2 = Curva recomendada del combinador
- 3 = Curva de empuje 0 de la hélice

La curva del combinador debe estar situada a suficiente distancia de la Curva de Carga Límite (1). Para controlar la sobrecarga, en caso de producirse, se debe equipar el sistema con un equipo de control de sobrecarga.

En este tipo de instalaciones, al igual que en las de paso fijo (FPP) deben tenerse muy en cuenta las pérdidas en la transmisión (Por ejemplo, pérdidas en el reductor y en los PTO´s).

Por otra parte, es preciso prestar plena atención a la curva del combinador. En una instalación con hélice de palas orientables, la curva de la hélice presenta el aspecto de la Figura 15.

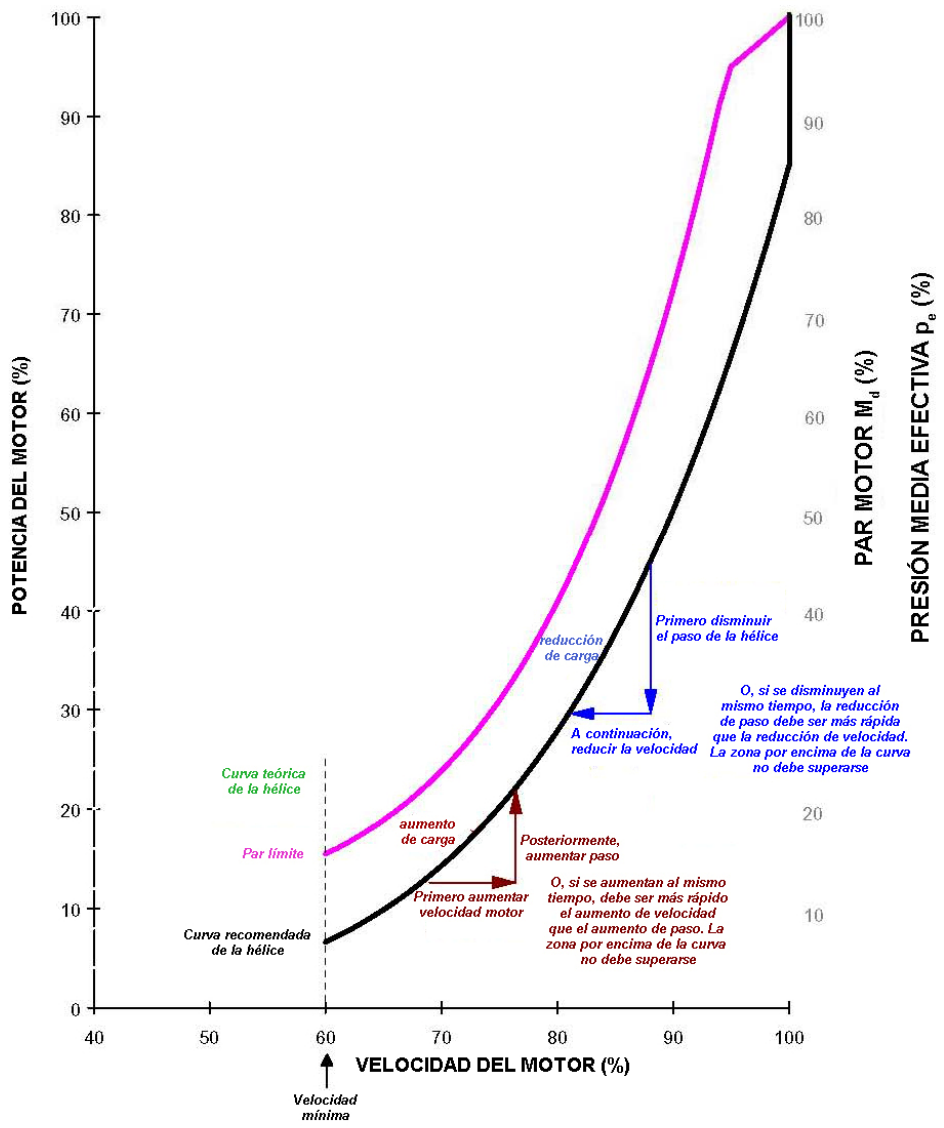

Fig. 15 Curva típica de una hélice de palas orientables con combinador

Como se puede apreciar en la curva, el aumento de empuje (pasar en el combinador es una posición a otra más alta, para lograr mayor velocidad del buque), se consigue a base de aumentar primero la velocidad del motor, y luego aumentar el paso de la hélice (Potencia del motor), con objeto de no superar la curva de la hélice. Cuando se trabaja con combinador, aunque ambos procesos son casi simultáneos, es más rápido el proceso de aumento de la velocidad del motor, con objeto de que no haya parada del mismo por demandar la curva de la hélice más potencia que la que proporciona el motor a cierta velocidad. El mismo proceso es válido para una disminución de la velocidad; pero a la inversa, primero se disminuye el paso (Lo que equivale a disminuir la potencia), y luego se disminuye la velocidad del motor.

Este fenómeno debe ser tenido muy en cuenta, sobre todo en buques con dos líneas de ejes, cada una accionada por un motor. En caso de avería o parada imprevista de uno de los dos motores, la curva de la hélice al paso que tenían ambas hélices antes de la parada de uno de los motores, debe ineludiblemente cortar a la curva del área de funcionamiento de un solo motor, con objeto de evitar la parada del motor que queda en funcionamiento.

La Figura 16 muestra que sucede cuando en una planta propulsora con dos motores diesel se cambia a modo de funcionamiento con un solo motor, o uno de ellos se para o se avería.

La curva MCR 2 muestra la potencia disponible al freno (P_B) de un motor diesel. El motor diesel que está operativo debe encontrar un nuevo punto de funcionamiento en la curva de modo de operación con una sola hélice, dentro de los límites de funcionamiento del motor diesel. En este ejemplo, el Punto 2 es el nuevo punto de funcionamiento del motor diesel.

Este punto señala también la máxima potencia al freno disponible (P_B) y velocidad (n) en el modo de funcionamiento con un solo eje y con el paso de proyecto para este buque.

Para usar la potencia al freno instalada del motor diesel que está operativo, el paso de la hélice debe reducirse (Punto 3). Sobre la curva de la hélice, se puede disponer de la plena potencia del motor diesel a la máxima velocidad del buque (v) para este modo de funcionamiento, con un solo eje.

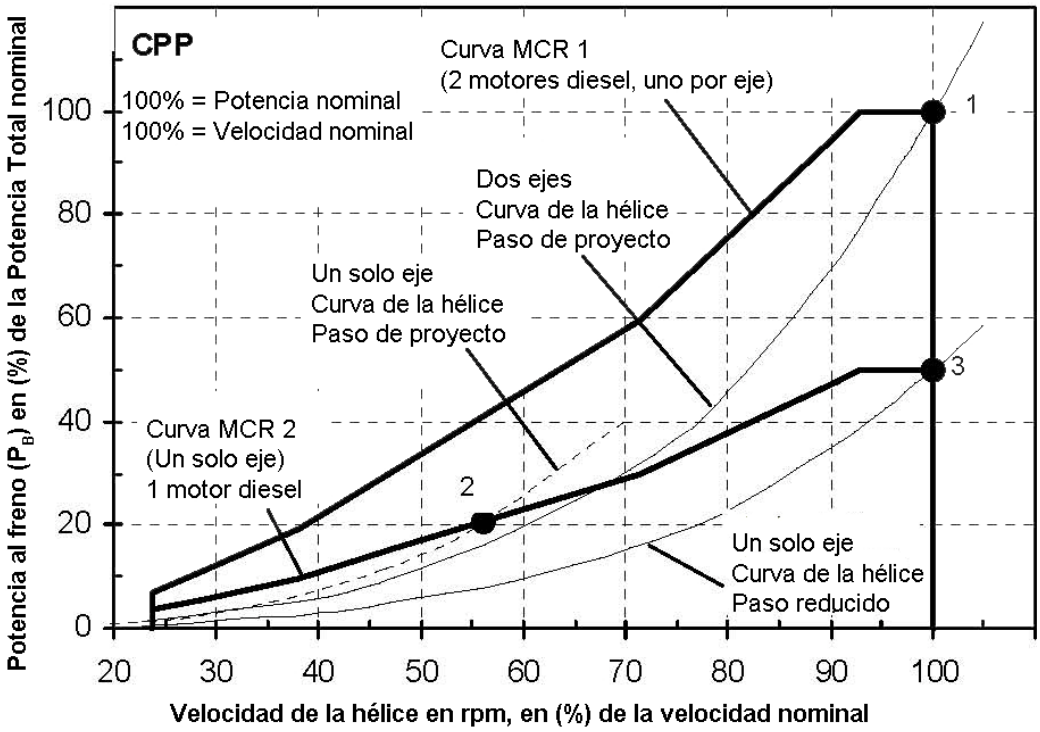

Fig. 16 Gráfico de un buque con dos líneas de ejes y hélices CPP, y potencia máxima esperada en caso de avería de un motor

En caso de no encontrar modo de funcionamiento alguno para el motor, este se calará y parará. Esto también indicará que con los motores elegidos, el buque no puede funcionar en el modo de una sola línea de ejes. En este caso, se deberá seleccionar una hélice del tipo CPP, de palas orientables, y encontrar el paso adecuado, si que es existe alguno adecuado para esta operación. En caso contrario, se habrá de recurrir a la UPA (Unidad de Potencia Auxiliar) en buques de combate, o en aquellos buques de pasaje que vayan provistos de este propulsor.

6 Definición de Grupos de Aplicación

6.1. Generalidades

Además de las aplicaciones generales, por ejemplo, para buques, deben tenerse en cuenta las aplicaciones particulares para seleccionar el motor diesel correcto.

La selección del grupo de aplicación determina la máxima potencia que puede desarrollar el motor y el tiempo entra mantenimientos principales (TBO) con antelación. Las cargas varían durante el funcionamiento, con el resultado de que el TBO depende del perfil actual de carga, y varía para las diferentes aplicaciones.

Para una elección óptima del motor diesel, teniendo en cuenta la máxima potencia disponible del mismo, debería disponerse de la siguiente información del operador del mismo:

- Aplicación, por ejemplo yates, patrulleros, pesqueros, cargueros
- Perfil de carga (potencia del motor versus tiempo de funcionamiento)
- Horas previstas de funcionamiento anual
- Tiempo preferido entre mantenimientos (TBO, solo para casos especiales)

Los términos “perfil de carga” y “TBO” y la relación entre ellos se explicarán en detalle posteriormente

7. Especificación de la Potencia y Condiciones de Referencia
8. Concepto de Mantenimiento / Programas de Mantenimiento

Sí el operador del motor no tiene disponible información sobre el perfil de carga, la selección del motor diesel se llevará a cabo tomando como base el perfil estándar de carga determinado por el fabricante para la aplicación típica. El Programa de Ventas de los fabricantes debe distinguir entre motores diesel para aplicación en propulsión marina y motores diesel auxiliares marinos y motores diesel para el suministro de energía eléctrica a bordo.

A continuación, los diferentes grupos de aplicación se subdividen en detalle.

6.2. Plantas Propulsoras Marinas Principales y Motores Auxiliares para la Propulsión

1 A Buques para servicio continuo con rango operativo ilimitado y / o funcionamiento continuo no restringido.

Carga media del motor:	70 – 90 % de la potencia nominal
Tiempo de funcionamiento anual:	Ilimitado
Ejemplos:	Cargueros, Remolcadores, Pesqueros, Ferries, otros buques mercantes, Yates a vela, Yates de gran desplazamiento con alto perfil de carga y/ o uso durante todo el año.

1 B Buques para servicio medio con altos factores de carga.

Carga media del motor:	60 – 80 % de la potencia nominal
Tiempo de funcionamiento anual:	Hasta 5.000 horas (como guía)
Ejemplos:	Buques comerciales, incluyendo Fast Ferries, Tenders, Buques de Servicio y Buques Offshore, Cargueros costeros, Buques multipropósito, Patrulleros, Yates de gran desplazamiento.

1 DS Buques para servicio ligero con bajos factores de carga

Carga media del motor:	Menor del 60% de la potencia nominal
Tiempo de funcionamiento anual:	Hasta 3.000 horas (como guía) (La Serie 2000, y los motores diesel de menor potencia, aproximadamente, 1.000 horas)
Ejemplos:	Yates de alta velocidad, Patrulleros rápidos, Buques contraincendios, Pesqueros de arrastre, Corbetas, Fragatas.

Las desviaciones importantes de los grupos de aplicación descritos anteriormente deberán ser discutidas con el grupo responsable de la ingeniería de aplicación del fabricante de los motores.

6.3. Generación de Energía eléctrica a bordo / Potencia auxiliar

3 A Generación de energía eléctrica / potencia continua

Carga media del motor:	≤ 100% de la potencia nominal del motor
Tiempo de funcionamiento anual:	No restringido (Ver Perfil de Carga según Figura 3.6.1)
Ejemplos:	Generación de potencia eléctrica, accionamiento diesel – hidráulico, accionamiento de bombas contraincendios.

3 B Generación de energía eléctrica, potencia motriz con carga variable

Carga media del motor:	≤ 100% de la potencia nominal del motor con carga variable.
Tiempo de funcionamiento anual:	No restringido (Ver Perfil de Carga según Figura 3.6.1)
Ejemplos:	Generación de potencia eléctrica, accionamiento diesel – hidráulico, accionamiento de bombas contraincendios.

Nota: Ambos grupos de aplicación (3 A, y 3 B) son apropiados para dispositivos de propulsión eléctrica.