7.1. Los Equipos Propulsores

7.1.1. Abreviaturas

En la Sección 7 se utilizarán las siguientes abreviaturas. En la mayoría de los casos (marcadas con asterisco) están de acuerdo con las recomendaciones de la Lista de Símbolos y Terminología ITTC, Versión Preliminar 1999 (International Towing Conference)

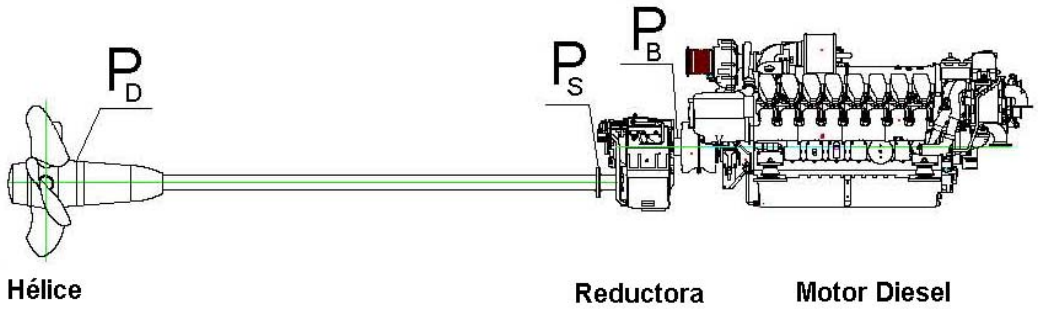


Fig. 30 Esquema una unidad propulsora (vista lateral)

Símbolo		Nombre	Definición o Explicación	Unidad SI
	ITTC			
B		Consumo de combustible	Dentro de MTU. kg/h	m^3/h kg/h
D	*	Diámetro de hélice		m
H_u		Poder calorífico inferior	Poder calorífico inferior del combustible (Valor normal: 42.800 kJ/kg)	kJ/kg
P_B	*	Potencia al freno	Potencia medida en la brida del motor diesel, potencia entregada por la máquina motriz	W
P_D	*	Potencia entregada o Potencia propulsora; Carga de la hélice	Potencia en la brida de la hélice	W
P_E	*	Potencia efectiva o Potencia resistente	Potencia para remolcar un buque	W
P_S	*	Potencia en el eje	Potencia medida en el eje Potencia disponible en la brida de salida del reductor. Sí no existe reductor $P_S = P_B$	W
P_S		Potencia aparente del alternador		W
P_p		Potencia activa del alternador		W
R_T	*	Resistencia total	Resistencia total del buque remolcado	N
T	*	Empuje de la hélice o Empuje del waterjet		N

Símbolo		Nombre	Definición o Explicación	Unidad SI
	ITTC			
b_e		Consumo específico de combustible	Para MTU, a menudo definido como SFC (Dimensiones de MTU: g/kWh)	kg/kWh (g/kWh)
f		Frecuencia de la energía eléctrica		Hz
n		Velocidad del eje, Tasa de revoluciones	(Motor Diesel, Reductora, Propulsor) rpm en varias aplicaciones del propulsor (1/60 s = rpm = 1/min)	1/s rpm
v		Velocidad del buque	Ver nota 1	m/s (nudos)
η_D	*	Rendimiento propulsivo	P_E/P_D	----
η_{Gen}		Rendimiento del alternador		----
η_H	*	Rendimiento del casco		----
η_m		Rendimiento mecánico	P_D/P_B, representa las pérdidas entre el motor diesel y la brida de la hélice	----
η_o	*	Rendimiento de la hélice en aguas abiertas		----
η_R	*	Rendimiento rotativo relativo		----
ρ_{fuel}		Densidad específica del combustible	(valor preferido 830 kg/m^3)	kg/m^3

NOTA 1

En tanto que la unidad en el SI es el m/ s, la unidad tradicional es el nudo, y esta situación no cambiará en un futuro próximo

kn nudo (1 milla marina/hora o 1850 m/3600 s = 0,5144 m/s)

sm Milla marina (= 1852 m) (También llamada milla náutica)

7.1.2. Dispositivos propulsores (General)

El trabajo propio de una unidad propulsora es convertir la potencia del motor diesel en empuje propulsivo.

7.1.2.1. Características generales

TIPO	CARACTERÍSTICAS GENERALES
Hélice de paso fijo (FPP)	Facil de fabricar Pequeño tamaño del **núcleo** La raíz de la pala determina la longitud del **núcleo** Proyecto para una sola **condición** (punto de proyecto) La potencia absorbida varía con la velocidad de la hélice No existe restricción en al área de la pala ni en la forma Reductor: Necesario reductor - inversor
Hélice de palas orientables (CPP)	Funcionamiento a velocidad constante o variable La raíz de la pala está restringida por las dimensiones del brazo Mecanicamente compleja Restricción en el área de la pala para mantener la reversibilidad Puede acomodarse a múltiples modos de funcionamiento Maniobrabilidad incrementada Reductor: Una hélice CPP solo necesita un reductor simple, sin inversión
Waterjet	Buen control direccional del empuje Complejidad mecánica aumentada Evita la necesidad de disponer un timón separado Maniobrabilidad incrementada La carga del motor Diesel es independiente del viento y de la mar Reductor: No se necesita reductor- inversor. A veces es preciso usar este equipo para permitir el flujo inverso del agua (modo inverso)

Fig. 31 Características generales de los diferentes equipos de propulsión

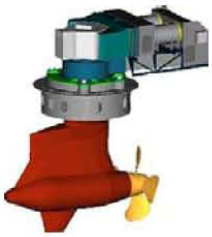
TIPO	CARACTERÍSTICAS GENERALES
HÉLICE ORIENTABLE CON TOBERA	Buen control direccional del empuje Complejidad mecánica aumentada No **necesita timón** Maniobrabilidad aumentada Pueden usarse hélices FPP o CPP en la tobera Para gama baja de velocidades (Aprox. < 20 nudos) Reductor: integrado en la unidad de propulsión
PROPULSOR CICLOIDAL (Voith - Schneider)	Buen control direccional del empuje Complejidad mecánica aumentada No **necesita timón** Para gama baja de velocidades (Aprox. < 20 nudos) Reductor. integrado en la unidad de propulsión, pero puede ser necesaria alguna adaptación
HÉLICES GEMELAS	Buen control direccional del empuje Complejidad mecánica aumentada No **necesita timón** Maniobrabilidad aumentada Hélice acoplada mecanicamente Mismo **sentido de giro** Para baja gama de velocidades (Aprox. < 24 nudos) Reductor: integrado en la unidad de propulsión
PROPULSORES POD 	Buen control direccional del empuje No **necesita timón** Maniobrabilidad aumentada El motor eléctrico acciona la hélice No **necesita reductor**

Fig. 32 Características generales de los diferentes equipos de propulsión

7.1.2.2. Disposiciones típicas

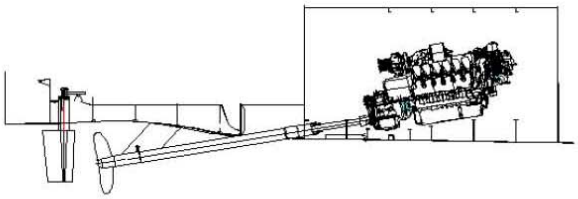
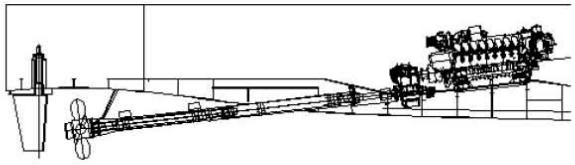
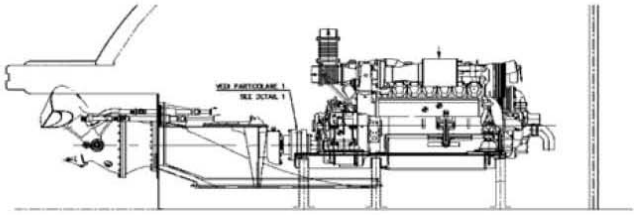
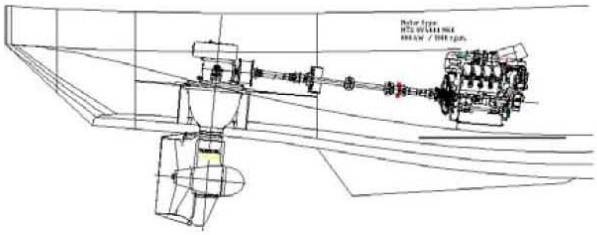
TIPO	DISPOSICIONES TÍPICAS
HÉLICE DE PASO FIJO (FPP)	
HÉLICE DE PALAS ORIENTABLES (CPP)	
WATERJET	
HÉLICE ORIENTABLE CON TOBERA	

Fig. 33 Disposiciones típicas generales de los diferentes equipos de propulsión

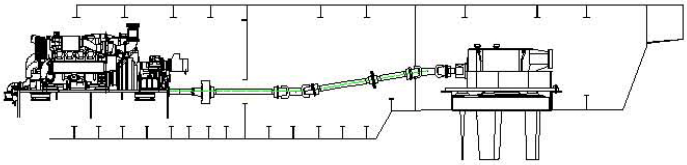
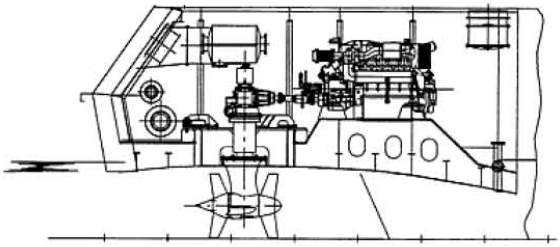
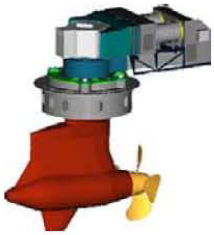
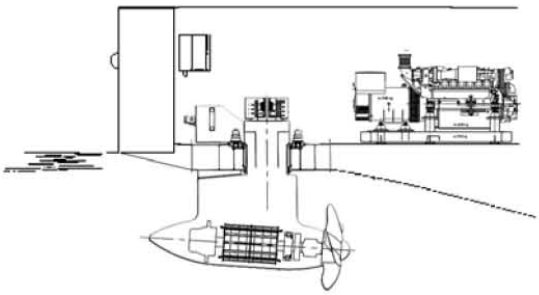
TIPO	DISPOSICIONES TÍPICAS
PROPULSOR CICLOIDAL (Voith - Schneider)	
HÉLICES GEMELAS	
PROPULSORES POD 	

Fig. 34 Disposiciones típicas generales de los diferentes equipos de propulsión

7.1.2.3. Características de maniobra de cada sistema

TIPO	CARACTERÍSTICAS DE MANIOBRA	
HÉLICE DE PASO FIJO (FPP)	Requisitos de potencia:	Relación fija entre la velocidad del buque y la potencia del motor diesel. Hay una clara dependencia de la resistencia del casco.
	Velocidad del buque:	Ajustando la velocidad del motor diesel
	Ciar:	Reductor - inversor
	Reductor:	Reductor - inversor
	Timón:	Necesario
HÉLICE DE PALAS ORIENTABLES (CPP)	Requisitos de potencia:	Cada paso posible tiene su propia relación fija a la curva de la potencia efectiva. Hay una **clara** dependencia de la resistencia del casco.
	Velocidad del buque:	Ajustando la velocidad del motor diesel o variando el paso de la hélice.
	Ciar:	Reductor - inversor o hélice totalmente reversible.
	Control:	Dispositivo hidráulico dispuesto en la línea de ejes o en el reductor.
	o	
	Reductor:	Reductor no inversor
	Timón:	Necesario
WATERJET	Requisitos de potencia:	Relación fija entre velocidad del eje y potencia del motor diesel. Poca dependencia de la resistencia del casco.
	Velocidad del buque:	Ajustando la velocidad del motor diesel.
	Ciar:	Álabes reversibles (opcional)
	Control:	Dispositivo hidráulico para gobierno y sistema de inversión.
	Reductor:	Reductor sin inversión / con inversión
	Timón:	Solo si no hay equipo de gobierno en el waterjet

Fig. 35 Características típicas generales de maniobrabilidad de los diferentes equipos de propulsión

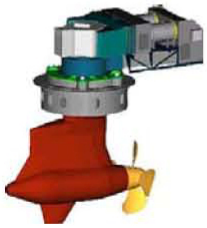
TIPO	CARACTERÍSTICAS DE MANIOBRA
HÉLICE ORIENTABLE CON TOBERA	Requisitos de potencia: Relación fija entre velocidad del buque y potencia del motor diesel. Hay una clara dependencia de la resistencia del casco. Velocidad del buque: Ajustando la velocidad del motor diesel. Ciar: Girando la barquilla. Control: Dispositivo hidráulico de gobierno. Reductor. Integrado Timón: No necesario
PROPULSOR CICLOIDAL (Voith - Schneider)	Requisitos de potencia: Cada posible paso de la pala tiene su propia relación fija con la curva de potencia efectiva Clara dependencia de resistencia del casco Velocidad del buque: Ajustando la velocidad del motor diesel o el paso de la pala. Ciar: Control de la dirección de empuje a través del paso de la pala. Control: Dispositivo hidráulico. Reductor: Integrado Timón: No necesario
HÉLICES GEMELAS	Requisitos de potencia: Relación fija entre velocidad del buque y potencia del motor diesel. Hay una clara dependencia de la resistencia del casco. Velocidad del buque: Ajustando la velocidad del motor diesel Ciar: Girando la barquilla Control: Dispositivo hidráulico para gobierno Reductor: Integrado Timón: No necesario
PROPULSORES POD 	Requisitos de potencia: Propulsión eléctrica total; relación fija entre velocidad del buque y **velocidad del motor eléctrico. Existe dependencia de la resistencia del casco** Velocidad del buque: Ajustando la velocidad del motor (eléctrico). Ciar: Girando el pod o invirtiendo el giro del motor. Control: Dispositivo hidráulico para gobierno. Reductor: No necesario Timón: No necesario

Fig. 35 Características típicas generales de maniobrabilidad de los diferentes equipos de propulsión

7.1.3. Pérdidas en la línea de ejes y en el reductor

La potencia al freno (PB) del motor diesel es transmitida a través de una línea de ejes a la brida de la hélice. Todos los consumidores en la línea de ejes deben contabilizarse como pérdidas mecánicas (η_m). Las pérdidas principales pueden tener lugar en el reductor, en función de cuantas ruedas dentadas y embragues se usen, así como de cuantas bombas sean accionadas. En cualquier caso, las bombas serán el origen de la mayor parte de las pérdidas.

$$\eta_m = \frac{P_D}{P_B} \ (—) \qquad \text{(E- 6.1.1)}$$

P_B = Potencia del motor diesel al freno, en kW
P_D = Potencia entregada, en kW
η_m = Rendimiento mecánico

En el punto de diseño o proyecto, se pueden utilizar las siguientes aproximaciones:

η_m = 0,98 para reductores no inversores (con y sin eje intermedio)
η_m = 0,97 para reductores – inversores

El fabricante debe suministrar la información necesaria sobre las pérdidas en el reductor.

Entre la brida de salida de fuerza del motor diesel y la hélice, el motor diesel debe hacer frente a dos fuentes diferentes de pérdidas mecánicas por fricción:

1. Pérdidas por fricción estática (no existe aún película de aceite)
2. Pérdidas dinámicas por fricción (película de aceite existente)

Las pérdidas por fricción en las chumaceras del eje (< 1%) pueden ser despreciadas. Sí no se utiliza reductor, se puede tomar como aproximación η_m = 0,99

Sí el eje de la hélice comienza a moverse, debe vencerse la fricción estática (par inicial de arranque) hasta que se establezca la lubricación, y solamente esté actuando la fricción dinámica.