

CUADERNO 6

Cálculos de hélice y timón

ALUMNA: Alejandra Caamaño Pestonit

TUTOR: Indalecio Seijo Jordán

*GRADO: Ingeniería de Propulsión y
Servicios del Buque*

PROYECTO: 13 - P3. Bulkcarrier 175 000 TPM



0. REQUERIMIENTOS PREVIOS

Escola Politécnica Superior



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.012-2013

PROYECTO NÚMERO 13-P3

TIPO DE BUQUE : BULKARRIER

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. SOLAS. MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 175.000 T.P.M. . Grano , mineral , carbón

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA : 15,5 nudos en condiciones de servicio. 85 % MCR+ 15% de margen de mar . 16.000 millas a la velocidad de servicio

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA : Escotillas de accionamiento hidráulico. Sin grúas para carga y descarga

PROPULSIÓN : Un motor diesel acoplado a una hélice de paso controlable

TRIPULACIÓN Y PASAJE : 32 Personas

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES : Los habituales en este tipo de buques

Ferrol, Febrero de 2.013

ALUMNO : D^a. Alejandra Caamaño Pestonit



ÍNDICE

	Página
0. REQUERIMIENTOS PREVIOS	2
1. INTRODUCCIÓN	4
2. PREDICCIÓN DE POTENCIA	
2.1 Introducción	5
2.2 Datos de inicio	6
2.3 Conclusiones relativas a la resistencia	8
2.4 Conclusiones relativas a la hélice	10
3. SELECCIÓN DEL MOTOR	
3.1 Características del motor	14
4. SELECCIÓN DE LA HÉLICE	
4.1 Introducción	16
4.2 Resultados con 4 palas	18
4.3 Resultados con 5 palas	19
4.4 Resultados con 6 palas	20
4.5 Conclusiones	21
5. SELECCIÓN DEL TIMÓN	
5.1 Huelgos entre hélice y casco	22
5.2 Configuración del timón	24
5.3 Área del timón	26
5.4 Mecha del timón	27
6. FUERZA SOBRE EL TIMÓN Y PAR TORSOR	
6.1. Fuerza sobre el timón	28
6.2. Par torsor	29
REFERENCIAS	35
ANEXO 1. Buque base	36
ANEXO 2. Project Guide	38
PLANO. Timón	39



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es hacer una selección de motor para el buque atendiendo a los cálculos realizados en el cuaderno primero. Además se realizarán los cálculos pertinentes para la hélice que facilitarán un diseño para el timón.

Para la realización de los cálculos se recurrirá al software NavCad.

2. PREDICCIÓN DE POTENCIA

2.1 Introducción

Se tratará de hacer un cálculo preliminar de la potencia propulsora mediante el software NavCad. Por encontrarse en la fase preliminar de diseño, algunos de los datos que necesitará el programa para el cálculo de la potencia se podrán calcular. Otros por el contrario se estimarán mediante el propio programa. Esta estimación se basará en el método Holtrop, que es un método estadístico cuyo planteamiento se basa en la teoría de resistencia por formación de olas.

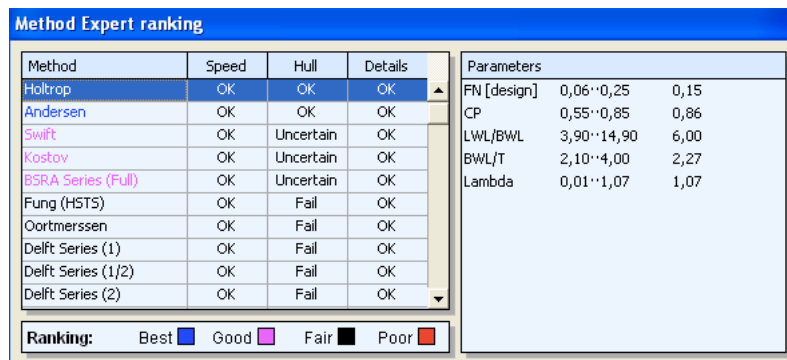


Imagen 1. Selección del método

En la imagen 2 se muestran los datos introducidos para que el programa estime el método a seguir.

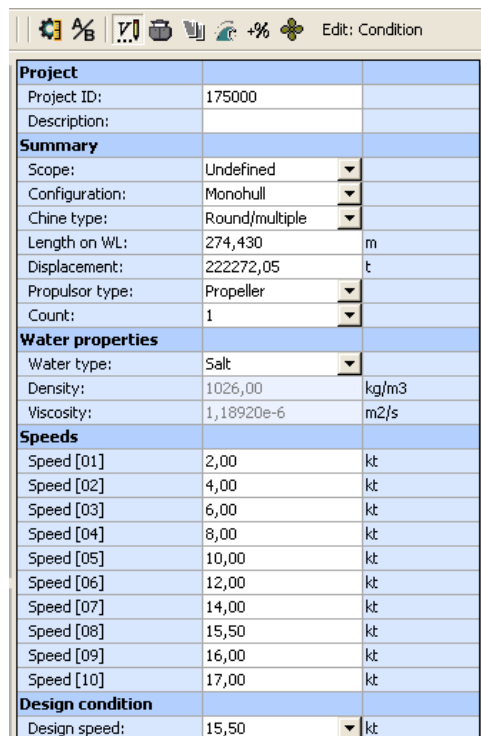


Imagen 2. Datos de entrada al software

2.2 Datos de inicio

El software necesita unos datos iniciales, que se obtienen del Cuaderno 1 (Dimensiones y Coeficientes)

2.2.1 Desplazamiento = 222.272,05 t (Apdo. 5.2, Cuaderno 1)

2.2.2 Eslora = 270,37 m (Apdo. 5.2, Cuaderno 1)

2.2.3 Velocidad de diseño = 15,5 kn. No obstante, el NavCad necesita un rango de velocidades para trabajar. Se añadirán hasta completar diez velocidades, tanto por encima como por debajo de la velocidad de servicio.

Además se tendrán en cuenta para el cálculo los apéndices y el margen de mar, que se introducirán en pestañas posteriores (Imágenes 4 y 5).

Una vez seleccionado el método Holtrop, se continuará introduciendo datos (Imagen 3) para el cálculo de la potencia efectiva.

Hull		
Configuration:	Monohull	
Chine type:	Round/multiple	
General		
Length on WL:	274,430	m
Max beam on WL:	45,750	m
Max molded draft:	20,130	m
Displacement:	222272,05	t
Wetted surface:	22445,7	m2
Demi-hull spacing:		m
ITTC-78 (CT)		
LCB fwd TR:	142,704	m
LCF fwd TR:	153,681	m
Max section area:	893,3	m2
Waterplane area:	11615,7	m2
Bulb section area:	72,0	m2
Bulb ctr below WL:	3,320	m
Bulb nose fwd TR:	277,000	m
Transom area:	0,0	m2
Transom beam WL:	0,000	m
Transom immersion:	0,000	m
Half entrance angle:	53,38	deg
Bow shape factor:	1,0	[WL flow]
Stern shape factor:	1,0	[WL flow]
Planing		
Proj chine length:	0,000	m
Proj bottom area:	0,0	m2
LCG fwd TR:	0,000	m
VCG below WL:	0,000	m
Aft station (fwd TR):	0,000	m
Deadrise:	0,00	deg
Chine beam:	0,000	m
Chine ht below WL:	0,000	m
Fwd station (fwd TR):	0,000	m
Deadrise:	0,00	deg
Chine beam:	0,000	m

Imagen 3. Datos generales

2.2.4 LCB fwd TR: posición del centro longitudinal por delante de popa. Se calculará mediante la siguiente fórmula^[1]

$$LCB = (17,5C_p - 12,8)\% \text{ de } L$$

$$LCB \text{ por delante de popa} = \frac{LCB^{[1]} + L_{pp}}{2} = 138,69 \text{ m}$$

2.2.5 LCF fwd TR: posición del centro longitudinal de flotación por delante de popa. Se estimará gracias al software

2.2.6 Max section area: coeficiente de la maestra [0,995]

2.2.7 Waterplane area: coeficiente de flotación [0,91] o mediante la siguiente fórmula^[2]

$$S = 1,76 * L * T + \nabla / T$$

2.2.8 Bulb section area: mediante un cálculo aproximado con el plano del buque base (Anexo 1) se calcula el área aproximada del bulbo

2.2.9 Transom area: la zona mojada del espejo. Debido a la configuración de este tipo de buques no existe área mojada en esta zona, por tanto será cero.

2.2.10 Half entrance angle: se estimará

2.2.11 Bow shape factor: factor de forma [Formas en U]

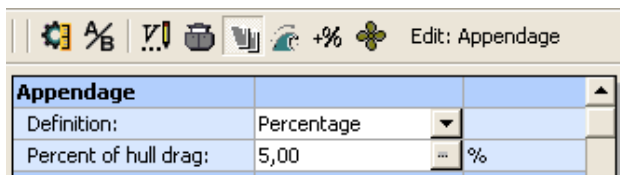


Imagen 4. Apéndices

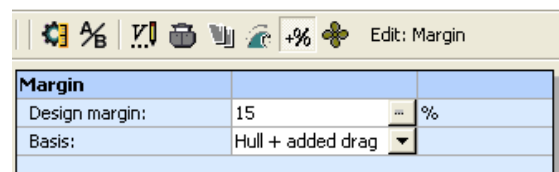


Imagen 5. Margen

En las imágenes 4 y 5 se observa el porcentaje y el margen de diseño basado no solamente en el casco, si no que además tiene en cuenta otros márgenes que se oponen en la resistencia al avance del buque como pueden ser las olas o el viento.



2.3 Conclusiones relativas a la resistencia

El modo “Resistance” del software permite el cálculo de la resistencia al avance del buque en kN, frente a la velocidad de avance, además del cálculo de la potencia efectiva necesaria para moverse a la velocidad de servicio.

Tabla 1. Resultados sobre Resistencia (kN) y Potencia (kW)

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
2,00	0,020	0,042	2,37e8	0,001845	1,510	0,000079	0,000000	0,000429	0,003294
4,00	0,040	0,085	4,75e8	0,001682	1,510	0,000161	0,000000	0,000395	0,003096
6,00	0,059	0,127	7,12e8	0,001597	1,510	0,000163	0,000000	0,000360	0,002935
8,00	0,079	0,170	9,50e8	0,001540	1,510	0,000148	0,000000	0,000331	0,002805
10,00	0,099	0,212	1,19e9	0,001499	1,510	0,000133	0,000000	0,000305	0,002700
12,00	0,119	0,254	1,42e9	0,001466	1,510	0,000131	0,000000	0,000281	0,002626
14,00	0,139	0,297	1,66e9	0,001438	1,510	0,000174	0,000000	0,000261	0,002607
+ 15,50 +	0,154	0,329	1,84e9	0,001421	1,510	0,000266	0,000000	0,000247	0,002658
16,00	0,159	0,339	1,90e9	0,001416	1,510	0,000313	0,000000	0,000242	0,002693
17,00	0,169	0,360	2,02e9	0,001405	1,510	0,000438	0,000000	0,000234	0,002794
RESISTANCE AND EFFECTIVE POWER									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]
2,00	40,15	2,01	0,00	0,00	0,00	6,32	48,48	41,3	49,9
4,00	150,97	7,55	0,00	0,00	0,00	23,78	182,30	310,7	375,1
6,00	321,96	16,10	0,00	0,00	0,00	50,71	388,77	993,8	1200,0
8,00	547,10	27,35	0,00	0,00	0,00	86,17	660,62	2251,6	2718,8
10,00	822,95	41,15	0,00	0,00	0,00	129,61	993,71	4233,6	5112,1
12,00	1152,18	57,61	0,00	0,00	0,00	181,47	1391,25	7112,8	8588,7
14,00	1556,96	77,85	0,00	0,00	0,00	245,22	1880,03	11213,6	13540,4
+ 15,50 +	1946,22	97,31	0,00	0,00	0,00	306,53	2350,06	15518,9	18739,1
16,00	2100,84	105,04	0,00	0,00	0,00	330,88	2536,77	17292,3	20880,4
17,00	2460,81	123,04	0,00	0,00	0,00	387,58	2971,42	21521,1	25986,7
OTHER									
SPEED [kt]	CTLR	CTLT							
2,00	0,00112	0,04683							
4,00	0,00229	0,04402							
6,00	0,00231	0,04172							
8,00	0,00211	0,03988							
10,00	0,00189	0,03839							
12,00	0,00186	0,03733							
14,00	0,00247	0,03706							
+ 15,50 +	0,00378	0,03779							
16,00	0,00445	0,03828							
17,00	0,00623	0,03972							

Report ID20151028-1644

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019.S1002.539

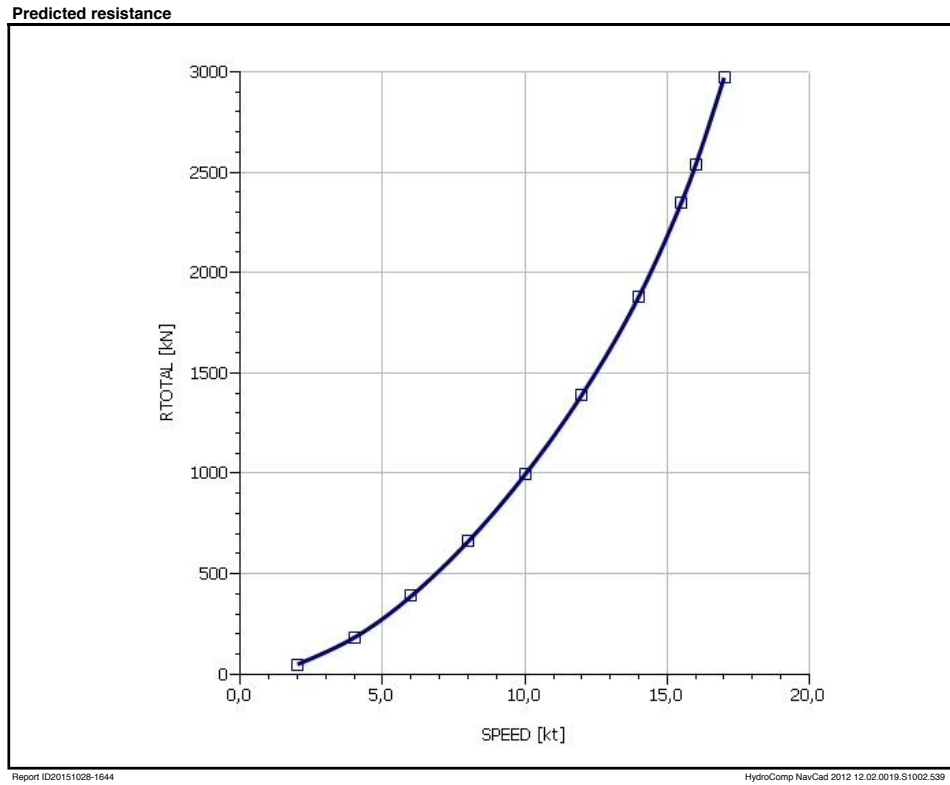


Gráfico 1. Resistencia al avance (kN) frente a la velocidad (kn)

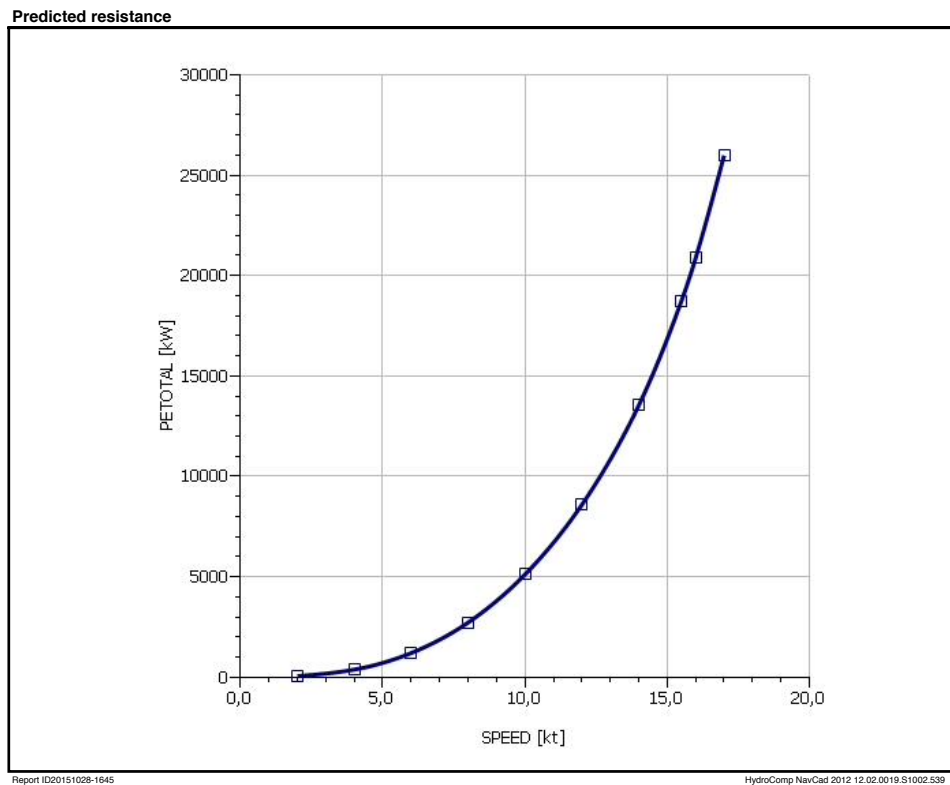


Gráfico 2. Potencia efectiva (kW) frente a la velocidad (kn)

En vista a estos cálculos se tiene que el buque ofrece una resistencia total al avance de 2350,06 kN siendo necesaria una potencia efectiva de 18739,1 kW navegando a la velocidad de servicio (15,5 kn).

2.4 Conclusiones relativas a la hélice

Una vez calculada la potencia efectiva se hace necesario introducir los parámetros de la hélice para realizar el cálculo de la potencia al freno. Esta será la potencia que el motor transmitirá directamente al propulsor ya que la hélice va directamente acoplada.

Para calcular esta potencia se cambia el modo de operación del software de "Resistance" a "Propulsion" (Imagen 6) y se añaden los datos requeridos como se puede ver en la Imagen 7.

Hull-propulsor		Calc	▼
Technique:		Prediction	▼
Prediction:		Holtrop	...
Reference ship:			
Max prop diam:	[mm]	8300,0	
Corrections			
Viscous scale corr:	On	Standard	▼
Rudder location:		Behind propeller	
Friction line:		ITTC-57	
Hull form factor:		1,510	...
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	
Roughness [mm]:	Off		
Ducted prop corr:	Off		▼
Tunnel stern corr:	Off		▼
Effective diam:	[m]		
Recess depth:	[m]		
System analysis			
Cavitation criteria:		Keller eqn	▼
Analysis type:		Free run	▼
CPP method:		Fixed RPM	▼
Engine RPM:		91,0	...
Mass multiplier:			
RPM constraint:			
Limit [RPM/s]:			

Imagen 6. Modo "Propulsion"

Propulsor			
Count:		1	▼
Propulsor type:		Propeller series	▼
Propeller type:		CPP	▼
Propeller series:		B Series	▼
Propeller sizing:		By thrust	▼
Reference prop:			
Blade count:		4	▼
Expanded area ratio:		0,7355	
Propeller diameter:		8300,0	mm
Propeller mean pitch:		7918,5	mm
Hub immersion:		15000,0	mm
Engine/gear			
Engine data:		None defined	▼
Rated RPM:			RPM
Rated power:			kW
Gear efficiency:		1,00	...
Gear ratio:		1,000	
Shaft efficiency:		0,97	...
Propeller options			
Oblique angle corr:		Off	▼
Shaft angle to WL:		0,00	deg
Added rise of run:		0,00	deg
Propeller cup:		0,0	mm
KTKQ corrections:		Standard	▼
Scale correction:		Full ITTC	
KT multiplier:		1,00	
KQ multiplier:		1,00	
Blade T/C [0.7R]:		Standard	
Roughness:		Standard	mm
Cav breakdown:		Off	
Nozzle L/D:		Standard	

Imagen 7. Datos para la hélice

Estos datos relativos a la hélice son:

- 2.4.1 Propeller type: hélice de paso variable [CPP, según las RPA, apartado 0]
- 2.4.2 Propeller sizing: se hará el dimensionado de la hélice por el método de empuje [By thrust]
- 2.4.3 Propeller diameter: se escogerá un diámetro de la hélice según los buques de la base de datos [8,3 m]
- 2.4.4 Hub immersion: inmersión del eje, medida desde el núcleo de la hélice hasta la línea de calado del buque [14 m]
- 2.4.5 Gear efficiency: sin reductora [1]
- 2.4.6 Shaft efficiency: teniendo en cuenta las pérdidas en el eje [0,97]

Además, se deben señalar unos datos concretos como se observa en la Imagen 8:

To size			
Gear ratio:	Keep	1,00	
Expanded area ratio:	Size	0,646	
Propeller diameter:	Size	8300,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	6597,0	mm
Design condition			
Max prop diam:		8300,0	mm
Design speed:		15,50	kt
Reference thrust:		3079,52	kN
Design point:		1,000	
Reference RPM:		91,0	
Design point:		1,000	

Imagen 8. Dimensionado de la hélice

Se mantendrá el ratio de la reductora en 1 ya que no interesa variar las revoluciones de la hélice.

En la siguiente tabla, se muestran los datos extraídos del programa para la potencia al freno con su gráfico correspondiente enfrentando la potencia con la velocidad de servicio del buque.



Tabla 2. Resultados sobre la Potencia al freno (kW)

Prediction results [System]									
SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE				
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]			
2,00	49,9	0,6820	0,2369	1,0110	18	90,5			
4,00	375,1	0,6628	0,2369	1,0110	36	672,5			
6,00	1200,0	0,6532	0,2369	1,0110	53	2121,6			
8,00	2718,8	0,6471	0,2369	1,0110	69	4746,7			
10,00	5112,1	0,6426	0,2369	1,0110	85	8828,9			
12,00	8588,7	0,6391	0,2369	1,0110	91	13944,1			
14,00	13540,4	0,6363	0,2369	1,0110	91	21525,2			
+ 15,50 +	18739,1	0,6346	0,2369	1,0110	91	30581,2			
16,00	20880,4	0,6340	0,2369	1,0110	91	34662,1			
17,00	25986,7	0,6330	0,2369	1,0110	91	45287,8			
POWER DELIVERY									
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	CPPITCH [mm]	
2,00	18	46,26	87,8	90,5	90,5	90,5	---	3735,6	
4,00	36	175,26	652,4	672,5	672,5	672,5	---	3735,6	
6,00	53	375,64	2057,9	2121,6	2121,6	2121,6	---	3735,6	
8,00	69	640,82	4604,3	4746,7	4746,7	4746,7	---	3735,6	
10,00	85	967,06	8564,0	8828,9	8828,9	8828,9	---	3735,6	
12,00	91	1434,91	13525,8	13944,1	13944,1	13944,1	965,0	4402,7	
14,00	91	2215,03	20879,4	21525,2	21525,2	21525,2	729,3	5546,2	
+ 15,50 +	91	3146,93	29663,8	30581,2	30581,2	30581,2	568,4	6597,0	
16,00	91	3566,87	33622,2	34662,1	34662,1	34662,1	517,6	7008,7	
17,00	91	4660,30	43929,2	45287,8	45287,8	45287,8	420,9	7968,6	
EFFICIENCY									
SPEED [kt]	EFFO		THRUST						
	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]					
2,00	0,2343	0,5514	63,53	48,48					
4,00	0,2513	0,5578	238,89	182,30					
6,00	0,2621	0,5656	509,44	388,77					
8,00	0,2701	0,5728	865,67	660,62					
10,00	0,2765	0,5790	1302,16	993,71					
12,00	0,2970	0,6159	1823,09	1391,24					
14,00	0,3057	0,6290	2463,59	1880,03					
+ 15,50 +	0,2992	0,6128	3079,52	2350,06					
16,00	0,2946	0,6024	3324,19	2536,77					
17,00	0,2814	0,5738	3893,76	2971,42					

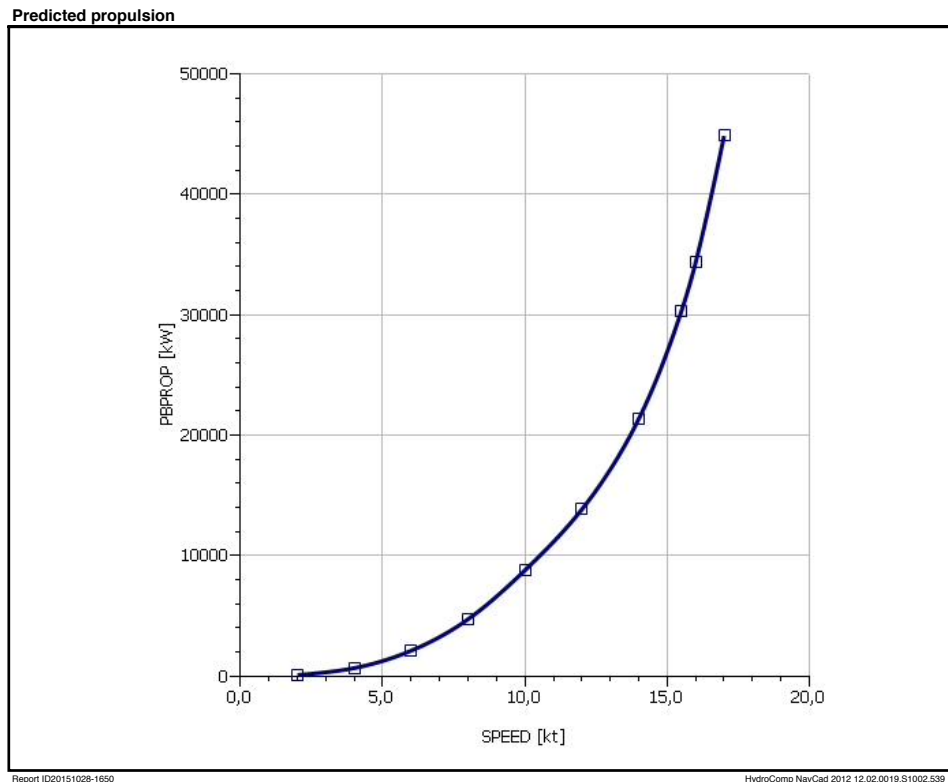


Gráfico 3. Potencia a freno (kW) frente a la velocidad (kn)



Finalmente la potencia al freno que debe generar el buque para mover la hélice a las revoluciones óptimas y a la velocidad de servicio, teniendo en cuenta las pérdidas que se producen hasta llegar al propulsor es de 30581,2 kW.

Además, añadiendo el margen continuo de operación, que para este buque es de un 85% (según RPA), la potencia final queda:

$$BP_{0,85MCR} = \frac{BP}{MCR}$$

$$BP_{0,85MCR} = \frac{30581,2}{0,85} = 35977,88 \text{ kW}$$



3. SELECCIÓN DEL MOTOR

Una vez establecida la potencia que necesita ofrecer el motor para mover la hélice a revoluciones óptimas, se procede a seleccionar un motor adecuado que garantice esta potencia. Para ello se recurre a la casa Man B&W, ya que es la que monta el motor del buque escogido como buque base (Anexo 1). No obstante, este buque base lleva una hélice de paso fijo (más eficiente para este tipo de buques de peso muerto) y requiere una potencia mucho menor que la obtenida para el buque del proyecto. Por ello se buscará un motor adecuado a la potencia obtenida.

El motor escogido es un motor de dos tiempos, modelo k98 ME C7- TII (Anexo 2) de la casa Man B & W. La potencia al freno que necesita la hélice es de 30581,2 kW, tal y como se ha calculado en el apartado 2.4. Añadiéndole el margen continuo de operación que es de un 85% la potencia transmitida necesaria es de:

$$BP_{0,85MCR} = \frac{BP}{MCR} = \frac{30581,2}{0,85}$$

$$BP_{Total} = 35977,88 \text{ kW}$$

El motor seleccionado ofrece una potencia de 36120 kW con 6 cilindros a 104 rpm y del orden de 42000 kW con siete cilindros. Para no tratar de sobredimensionar el motor y con vistas a reducir el tamaño para introducirlo en la cámara de máquinas, se decide instalar el motor de seis cilindros.

3.1 Características del motor

Consultando la “Project Guide” que ofrece el vendedor se obtienen las características principales del motor.

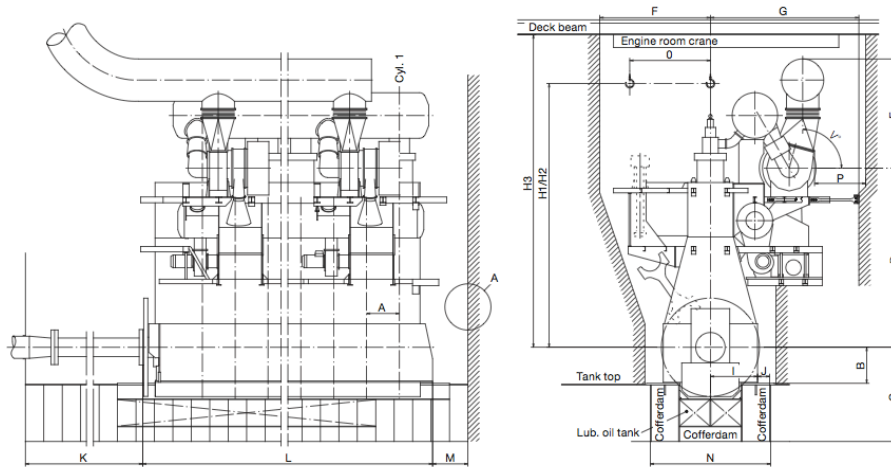


Figura 1. Motor seleccionado

De estas medidas se escogerá de la tabla 3 aquellas que se correspondan con el número de cilindros instalados (seis en este proyecto) además de su consumo (Tabla 4).



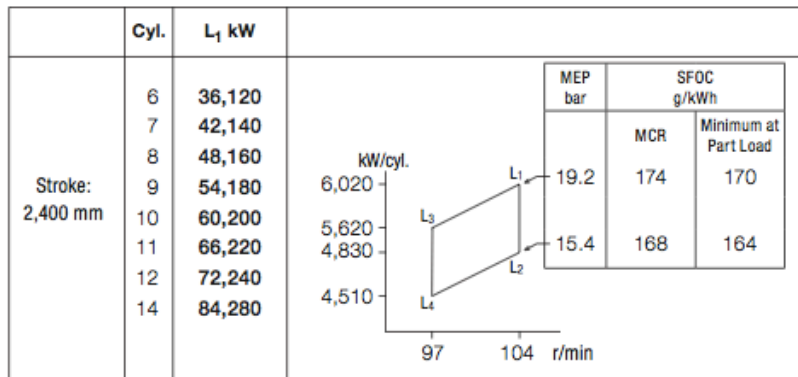
Tabla 3. Medidas del motor

Cyl. No.	6	7	8	9	10	11	12	14		
A	1,750								Cylinder distance	
B	1,750								Distance from crankshaft centre line to foundation	
C	4,461	4,541	4,621	4,711	4,761	4,831	4,901	5,021	The dimension includes a cofferdam of 600 mm and must fulfil minimum height to tank top according to classification rules	
D*	8,650	8,650	8,650	8,650	8,650	8,650	8,650	8,650	MAN Diesel TCA	Dimensions according to turbocharger choice at nominal MCR
	8,490	8,490	8,600	8,490	8,490	8,600	8,600	8,490	ABB TPL	
	8,610	8,585	8,585	8,610	8,610	8,585	8,610	8,585	Mitsubishi MET	
E*	5,125	5,367	5,608	5,554	5,691	5,964	6,101	6,216	MAN Diesel TCA	Dimensions according to turbocharger choice at nominal MCR
	4,963	5,205	5,705	5,392	5,529	6,061	6,198	6,054	ABB TPL	
	4,893	5,290	5,531	5,322	5,459	5,887	5,684	6,139	Mitsubishi MET	
F	4,850								See drawing: 'Engine Top Bracing', if top bracing fitted on camshaft side	
G	6,395	6,395	6,395	6,395	6,395	6,395	6,395	6,395	MAN Diesel TCA	The required space to the engine room casing includes mechanical top bracing
	6,035	6,035	6,725	6,035	6,035	6,725	6,725	6,035	ABB TPL	
	6,105	6,635	6,635	6,105	6,105	6,635	6,105	6,635	Mitsubishi MET	
H1*	12,900								Minimum overhaul height, normal lifting procedure	
H2*	12,575								Minimum overhaul height, reduced height lifting procedure	
H3*	-								The minimum distance from crankshaft centre line to lower edge of deck beam, when using MAN B&W Double Jib Crane	
I	2,185								Length from crankshaft centre line to outer side bedplate	
J	640								Space for tightening control of holding down bolts	
K	See text								K must be equal to or larger than the propeller shaft, if the propeller shaft is to be drawn into the engine room	
L*	13,311	15,084	16,811	19,801	21,551	23,301	25,051	28,606	Minimum length of a basic engine, without 2 nd order moment compensators	
M	≈ 800								Free space in front of engine	
N	5,240								Distance between outer foundation girders	
O	3,950								Minimum crane operation area	
P	See tekst								See drawing: 'Crane beam for Turbocharger' for overhaul of turbocharger	
V	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°								Maximum 30° when engine room has minimum headroom above the turbocharger	



Tabla 4. Consumo de fuel

Power and Speed



Fuel and lubricating oil consumption

At load Layout point	Specific fuel oil consumption g/kWh		Lubricating oil consumption	
	With high efficiency turbocharger		System oil Approximate g/kWh	MAN B&W Alpha cylin- der lubricator
	100%	70%		
L ₁ and L ₂	174	170	0.1	0.65
L ₃ and L ₄	168	164		

Por tanto, el motor escogido cuenta con las siguientes características:

Tabla 5. Resumen características del motor seleccionado

Modelo	K98 – ME - C7 - TII
Potencia (kW)	36,120 (6 cil.)
Revoluciones (rpm)	104
Consumo, SFOC (g/kW-h)	174
Tamaño (mm)	13311



4. CÁLCULO DE LA HÉLICE

4.1 Introducción

Para este proyecto se ha escogido una hélice de palas orientables. El objetivo de este tipo de propulsor es modificar el paso adaptándolo a los requisitos de las distintas condiciones de navegación sin necesidad de modificar las revoluciones del equipo propulsor, optimizando el consumo de combustible. Estas condiciones de navegación pueden ser distintos calados a los que se ve sometido el buque debido a su condición de carga, o según los estados de la mar o incluso a distintos grados de ensuciamiento del casco.

El principal problema que tienen este tipo de hélices de palas orientables, es que tienen un menor rendimiento en comparación a las de paso fijo, además de mayores problemas de cavitación y vibraciones cuando se ven obligadas a trabajar alejadas de su punto óptimo de diseño.

Sin embargo, la instalación de hélices de paso variable tiene una serie de ventajas:

- Permite ajustar el empuje para compensar el efecto de una corriente en la maniobra de aproximación a un muelle.
- Permite el ciado sin tener que cambiar el sentido de giro del motor, pudiendo efectuar el cambio sin fuertes sacudidas que perjudiquen al motor.
- En caso de avería de una única pala, esta se puede sustituir de forma individual sin tener que modificar la hélice entera, incluso pudiendo realizar la operación a flote.

En este cuaderno se tratará de escoger un diseño para la hélice adecuado a las características de potencia que requieren, además de seleccionar aquella hélice que ofrezca el mejor rendimiento en función del número de palas.

Para el cálculo de la hélice es necesario hacer su dimensionado mediante el software NavCad. Para ello, a diferencia del cálculo de la resistencia al avance, es necesario dimensionar "By power" ya que en este caso el dato de partida es la potencia que ofrece el motor.

Propulsor		
Count:	1	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	CPP	
Propeller series:	B Series	
Propeller sizing:	By power	
Reference prop:		
Blade count:	4	
Expanded area ratio:	0,7998	
Propeller diameter:	8300,0	mm
Propeller mean pitch:	8383,7	mm
Hub immersion:	15000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	None defined	
Rated RPM:		RPM
Rated power:		kW
Gear efficiency:	1,00	
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	0,97	
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Standard	
Scale correction:	Full ITTC	
KT multiplier:	1,00	
KQ multiplier:	1,00	
Blade T/C [0.7R]:	Standard	
Roughness:	Standard	mm
Cav breakdown:	Off	
Nozzle L/D:	Standard	

Imagen 9. Dimensionado "By power"

Como se puede observar en la imagen 9 se ha modificado el dimensionado de la hélice, así como la eficiencia del eje (shaft efficiency). Esto se debe a que en cálculos iniciales se ha considerado una hélice aligerada, sin tener en cuenta las posibles incrustaciones que puede tener la hélice. Es por ello, que esta eficiencia se modifica al 0,97 para considerarla cargada.

Además, hay que señalar que una vez consultada la Project Guide del motor, las revoluciones óptimas a las que gira el motor son distintas a las que se marcaron en un inicio. Por ello hay que modificarlas como se puede observar en la imagen 10.



Mode: Propulsion		
Hull-propulsor	Calc	
Technique:		Prediction
Prediction:		Holtrop
Reference ship:		
Max prop diam:	[mm]	8300,0
Corrections		
Viscous scale corr:	On	Standard
Rudder location:		Behind propeller
Friction line:		ITTC-57
Hull form factor:		1,510
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)
Roughness [mm]:	Off	
Ducted prop corr:	Off	
Tunnel stern corr:	Off	
Effective diam:	[m]	
Recess depth:	[m]	
System analysis		
Cavitation criteria:		Keller eqn
Analysis type:		Free run
CPP method:		Fixed RPM
Engine RPM:		104,0
Mass multiplier:		
RPM constraint:		
Limit [RPM/s]:		

Imagen 10. Cambio de revoluciones

Como método de estimación se continuará escogiendo el Holtrop, método cuyo planteamiento se basa en la teoría de resistencia por formación de olas y que el programa señala como más adecuado.

A continuación se debe escoger el número de palas que llevará la hélice escogiendo el propulsor que mejor rendimiento ofrezca según este número.



4.2 Resultados con 4 palas

Tabla 6. Resultados para 4 palas

Prediction results [System]								
		HULL-PROPULSOR			ENGINE			
SPEED [kt]	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]		
2,00	48,7	0,5810	0,2303	1,0047	19	92,9		
4,00	367,3	0,5681	0,2303	1,0047	37	691,9		
6,00	1175,6	0,5616	0,2303	1,0047	54	2185,0		
8,00	2664,1	0,5575	0,2303	1,0047	71	4893,0		
10,00	5009,7	0,5544	0,2303	1,0047	88	9108,1		
12,00	8417,7	0,5521	0,2303	1,0047	104	15158,9		
14,00	13276,4	0,5502	0,2303	1,0047	104	22159,0		
+ 15,50 +	18387,5	0,5490	0,2303	1,0047	104	30485,6		
16,00	20495,9	0,5486	0,2303	1,0047	104	34200,5		
17,00	25530,5	0,5479	0,2303	1,0047	104	43740,2		
POWER DELIVERY								
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN.m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	CPPITCH [mm]
2,00	19	46,02	90,1	92,9	92,9	92,9	---	3735,6
4,00	37	174,62	671,1	691,9	691,9	691,9	---	3735,6
6,00	54	374,59	2119,5	2185,0	2185,0	2185,0	---	3735,6
8,00	71	639,40	4746,2	4893,0	4893,0	4893,0	---	3735,6
10,00	88	965,34	8834,8	9108,1	9108,1	9108,1	---	3735,6
12,00	104	1356,50	14704,1	15158,9	15158,9	15158,9	887,7	3752,5
14,00	104	1982,90	21494,2	22159,0	22159,0	22159,0	708,5	4697,4
+ 15,50 +	104	2728,02	29571,1	30485,6	30485,6	30485,6	570,1	5542,1
16,00	104	3060,44	33174,4	34200,5	34200,5	34200,5	524,6	5866,0
17,00	104	3914,11	42428,0	43740,2	43740,2	43740,2	435,8	6604,7
		EFFICIENCY		THRUST				
SPEED [kt]	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
2,00	0,2930	0,5245	61,56	47,38				
4,00	0,3057	0,5308	231,91	178,49				
6,00	0,3144	0,5380	494,85	380,86				
8,00	0,3212	0,5445	841,07	647,33				
10,00	0,3267	0,5500	1265,26	973,81				
12,00	0,3316	0,5553	1771,65	1363,55				
14,00	0,3593	0,5991	2395,09	1843,38				
+ 15,50 +	0,3627	0,6032	2996,11	2305,96				
16,00	0,3607	0,5993	3235,30	2490,05				
17,00	0,3518	0,5837	3792,96	2919,25				

Predicted propulsion

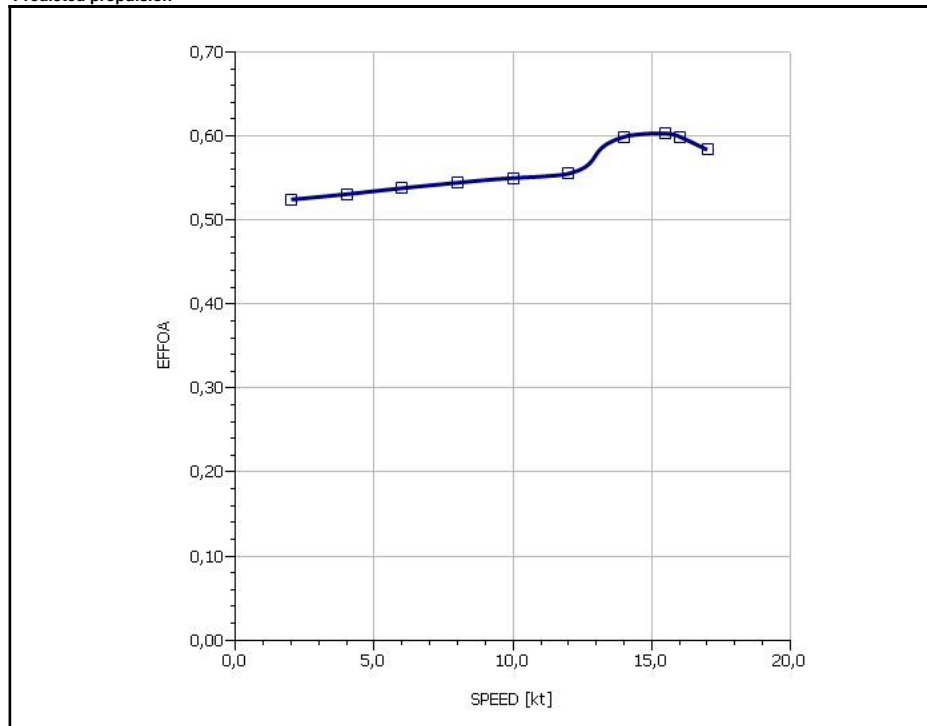


Gráfico 4. Rendimiento propulsivo con 4 palas



4.3 Resultados con 5 palas

Tabla 7. Resultados para 5 palas

Prediction results [System]								
HULL-PROPULSOR					ENGINE			
SPEED [kt]	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]		
2,00	48,7	0,5810	0,2303	1,0144	18	91,3		
4,00	367,3	0,5681	0,2303	1,0144	36	680,7		
6,00	1175,6	0,5616	0,2303	1,0144	53	2151,5		
8,00	2664,1	0,5575	0,2303	1,0144	70	4820,9		
10,00	5009,7	0,5544	0,2303	1,0144	86	8978,5		
12,00	8417,7	0,5521	0,2303	1,0144	103	14983,5		
14,00	13276,4	0,5502	0,2303	1,0144	104	21897,0		
+ 15,50 +	18387,5	0,5490	0,2303	1,0144	104	29824,1		
16,00	20495,9	0,5486	0,2303	1,0144	104	33330,5		
17,00	25530,5	0,5479	0,2303	1,0144	104	42270,5		
POWER DELIVERY								
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	CPPITCH [mm]
2,00	18	46,46	88,6	91,3	91,3	91,3	---	3735,6
4,00	36	176,40	660,3	680,7	680,7	680,7	---	3735,6
6,00	53	378,60	2086,9	2151,5	2151,5	2151,5	---	3735,6
8,00	70	646,51	4676,3	4820,9	4820,9	4820,9	---	3735,6
10,00	86	976,41	8709,1	8978,5	8978,5	8978,5	---	3735,6
12,00	103	1371,34	14534,0	14983,5	14983,5	14983,5	898,1	3735,6
14,00	104	1978,34	21240,1	21897,0	21897,0	21897,0	716,9	4569,4
+ 15,50 +	104	2694,53	28929,4	29824,1	29824,1	29824,1	582,8	5373,9
16,00	104	3011,33	32330,6	33330,5	33330,5	33330,5	538,3	5681,6
17,00	104	3819,03	41002,4	42270,5	42270,5	42270,5	451,0	6381,9
EFFICIENCY			THRUST					
SPEED [kt]	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
2,00	0,2953	0,5336	61,56	47,38				
4,00	0,3077	0,5395	231,91	178,49				
6,00	0,3163	0,5464	494,85	380,86				
8,00	0,3229	0,5526	841,07	647,33				
10,00	0,3283	0,5580	1265,26	973,81				
12,00	0,3323	0,5618	1771,65	1363,55				
14,00	0,3601	0,6063	2395,09	1843,38				
+ 15,50 +	0,3672	0,6165	2996,11	2305,96				
16,00	0,3665	0,6149	3235,30	2490,05				
17,00	0,3606	0,6040	3792,96	2919,25				

Predicted propulsion

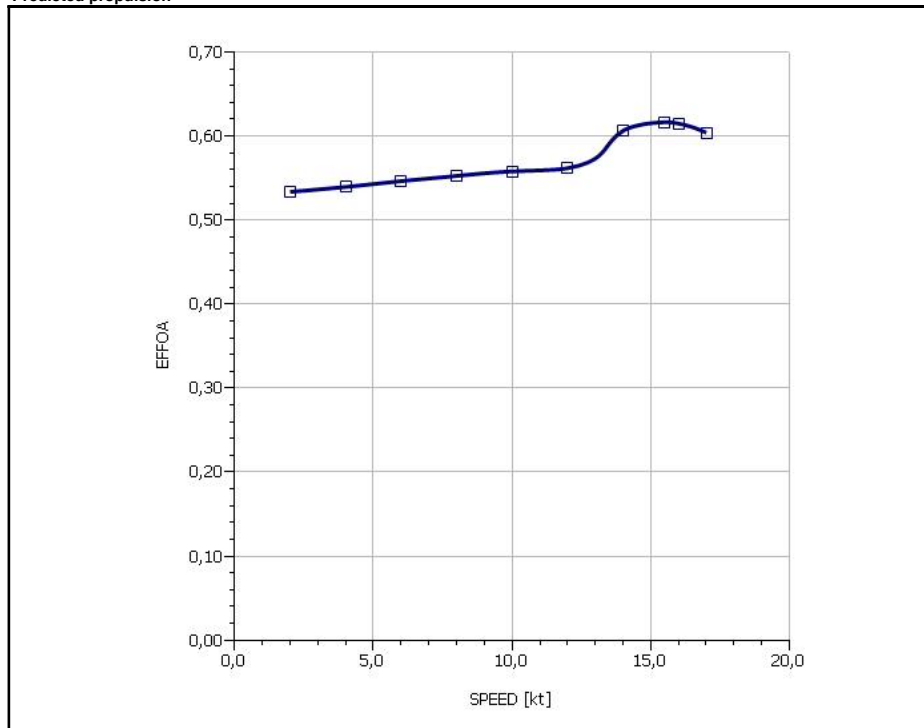


Gráfico 5. Rendimiento propulsivo con 5 palas



4.4 Resultados con 6 palas

Tabla 8. Resultados para 6 palas

Prediction results [System]							
SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE		
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	
2,00	48,7	0,5810	0,2303	1,0108	18	89,7	
4,00	367,3	0,5681	0,2303	1,0108	36	668,6	
6,00	1175,6	0,5616	0,2303	1,0108	53	2114,1	
8,00	2664,1	0,5575	0,2303	1,0108	69	4739,0	
10,00	5009,7	0,5544	0,2303	1,0108	86	8828,8	
12,00	8417,7	0,5521	0,2303	1,0108	102	14737,5	
14,00	13276,4	0,5502	0,2303	1,0108	104	21813,3	
+ 15,50 +	18387,5	0,5490	0,2303	1,0108	104	29668,4	
16,00	20495,9	0,5486	0,2303	1,0108	104	33102,4	
17,00	25530,5	0,5479	0,2303	1,0108	104	41770,4	

POWER DELIVERY								
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	CPPITCH [mm]
2,00	18	45,97	87,0	89,7	89,7	89,7	---	3735,6
4,00	36	174,57	648,5	668,6	668,6	668,6	---	3735,6
6,00	53	374,72	2050,7	2114,1	2114,1	2114,1	---	3735,6
8,00	69	639,96	4596,8	4739,0	4739,0	4739,0	---	3735,6
10,00	86	966,61	8564,0	8828,8	8828,8	8828,8	---	3735,6
12,00	102	1357,69	14295,4	14737,5	14737,5	14737,5	913,1	3735,6
14,00	104	1963,72	21158,9	21813,3	21813,3	21813,3	719,7	4482,4
+ 15,50 +	104	2670,87	28778,3	29668,4	29668,4	29668,4	585,8	5251,0
16,00	104	2980,01	32109,4	33102,4	33102,4	33102,4	542,0	5544,3
17,00	104	3760,34	40517,3	41770,4	41770,4	41770,4	456,4	6209,7

SPEED [kt]	EFFICIENCY		THRUST	
	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]
2,00	0,3019	0,5437	61,56	47,38
4,00	0,3144	0,5493	231,91	178,49
6,00	0,3230	0,5561	494,85	380,86
8,00	0,3297	0,5622	841,07	647,33
10,00	0,3350	0,5674	1265,26	973,81
12,00	0,3390	0,5712	1771,65	1363,55
14,00	0,3628	0,6086	2395,09	1843,38
+ 15,50 +	0,3704	0,6198	2996,11	2305,96
16,00	0,3704	0,6192	3235,30	2490,05
17,00	0,3662	0,6112	3792,96	2919,25

Predicted propulsion

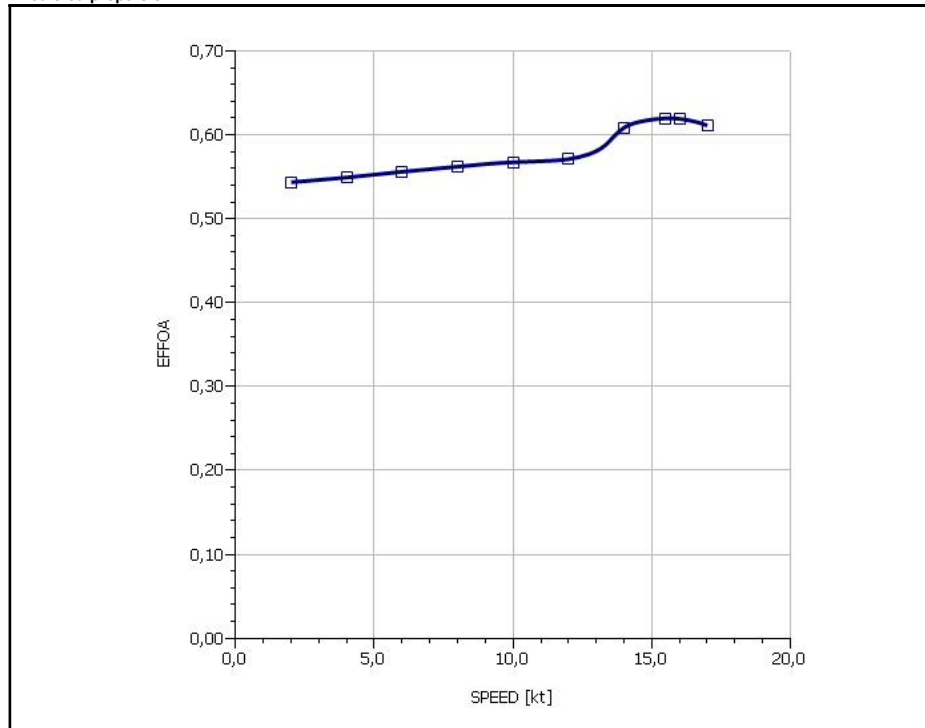


Gráfico 6. Rendimiento propulsivo con 6 palas



4.5 Conclusiones

Los rendimientos para los distintos números de palas han sido:

Tabla 9. Resumen de datos con diferentes palas

Nº de palas	EFFOA	PB (kW)
4	0,6032	30485,6
5	0,6165	29824,1
6	0,6198	29668,4

En vista de los resultados de la tabla 9, el rendimiento total del propulsor (EFFOA, cociente entre la potencia efectiva y la potencia en el eje) es mayor en una hélice de seis palas.

No obstante se decide seleccionar la hélice de cinco palas por ser el modelo más habitual instalado en este tipo de buques. El rendimiento es ligeramente menor, pero no afectará en demasía al comportamiento general del propulsor. Es más, supondrá un ahorro económico el hecho de instalar una hélice de cinco palas frente a una de seis. En definitiva, la hélice seleccionada presenta un serie de características definidas a continuación, que han sido generadas por el NavCad:

Tabla 10. Resumen de datos para la hélice

Sizing results	
To size	Design condition
Gear ratio: [Keep] 1	Max prop diam: 8300 mm
Expanded area ratio: [Size] 0,6974	Design speed: 15,50 kt
Propeller diameter: [Size] 8300 mm	Reference power: 36120,0 kW
Propeller mean pitch: [Size] 5703,6 mm	Design point: 0,850
	Reference RPM: 104,0
	Design point: 0,970

Report ID20151028-1724

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019.S1002.539

Cuyas dimensiones principales son las que siguen:

Tabla 11. Hélice seleccionada

Area (ratio)	0,6947
Diámetro (mm)	8300
Paso (mm)	5703,6
Velocidad (rpm)	104
Potencia (kW)	29824,1

5. CÁLCULO DEL TIMÓN

5.1 Huelgos entre hélice y casco

Estos cálculos están basados en un reglamento distinto al de las especificaciones de las RPA, debido a que este último no trae información sobre estas medidas. Por ello se empleará el DNV (Det Norske Veritas) cuyas fórmulas son las que siguen^[3]

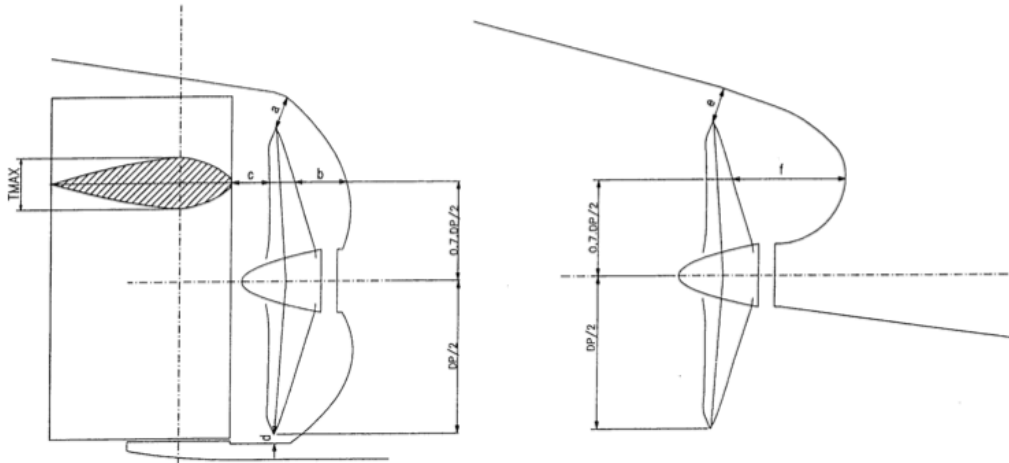


Figura 2. Huelgos mínimos entre hélice y casco

$$a = (0,24 - 0,01 * z) * DP$$

$$a = 1577 \text{ mm}$$

$$b = (0,35 - 0,02 * z) * DP$$

$$b = 2075 \text{ mm}$$

$$c = 0,1 * DP$$

$$c = 830 \text{ mm}$$

$d = 0,035 * DP$ (no es necesario su cálculo ya que el timón proyectado carece de sustentación por debajo)

Donde:

- z : número de palas (5)
- DP : diámetro de la hélice (8300 mm)

A continuación se muestra un plano con los huelgos del timón, donde se comprueba que se cumplen las medidas mínimas exigidas por la Sociedad de Clasificación.

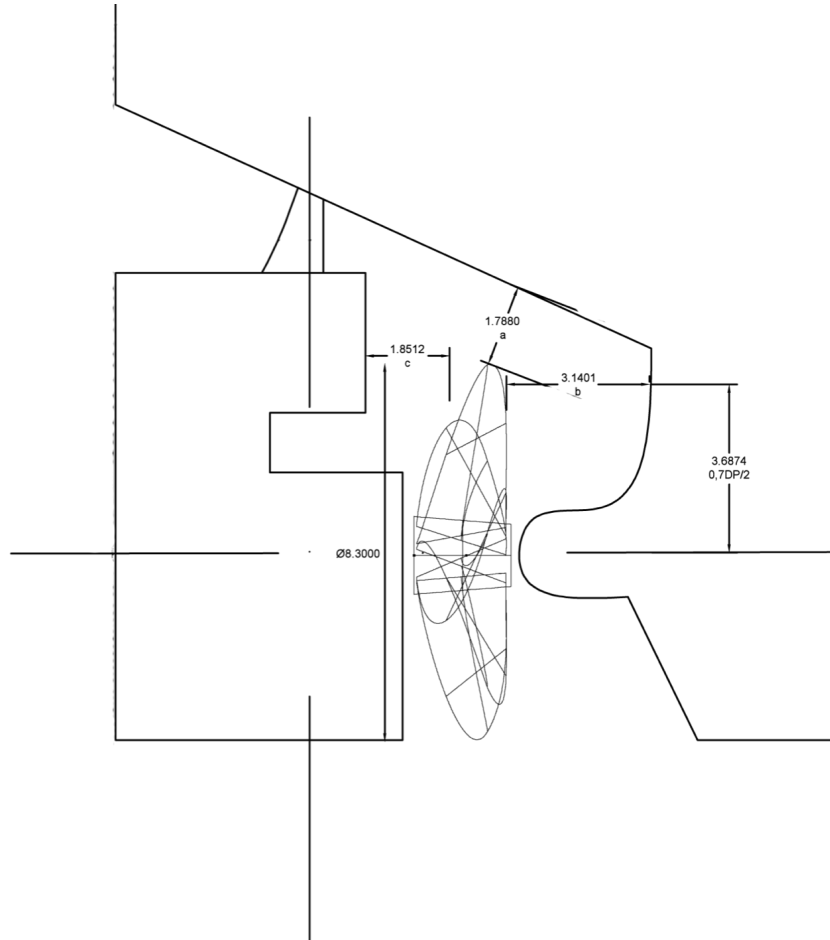


Figura 3. Huelgos entre hélice y casco

Al analizar los huelgos (o claras) mínimos exigidos por la Sociedad de Clasificación se observa que los huelgos mínimos exigidos disminuyen al aumentar el número de palas del propulsor. Esto se debe a que el aumento del número de palas provoca un menor nivel de fluctuaciones de par y empuje transmitidos al casco y línea de eje. Por ello se deduce que es oportuno instalar hélices con el mayor número de palas.

5.2 Configuración del timón

El tipo de timón se ha escogido según las referencias del buque base (Anexo 1). Se trata pues de un timón semi-apoyado (horn) cuyas dimensiones principales se han obtenido de las siguientes fórmulas^[4] extraídas del reglamento utilizado como guía para este proyecto, el ABS (American Bureau Of Shipping)

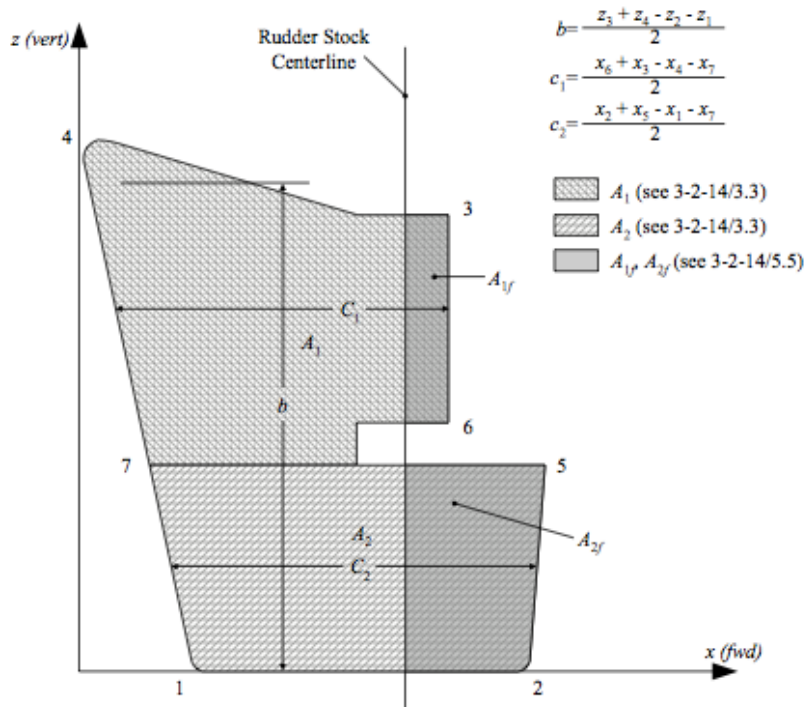


Figura 4. Medidas principales del timón

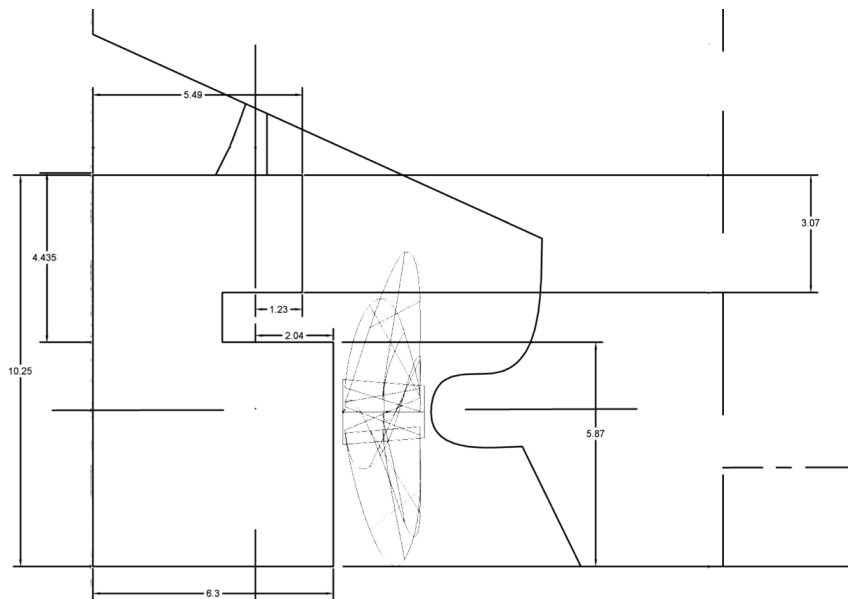


Figura 5. Medidas reales del timón



- Cálculo:

$$b = \frac{10,25 + 10,25 - 0 - 0}{2} = 10,25 \text{ m}$$

$$c_1 = \frac{5,49 + 5,49 - 0 - 0}{2} = 5,49 \text{ m}$$

$$c_2 = \frac{6,3 + 6,3 - 0 - 0}{2} = 6,3 \text{ m}$$

$$A_1 = 4,26 * 4,37 = 18,9658 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 4,26 * 5,87 = 25,4758 \text{ m}^2$$

$$A_{1f} = 1,23 * 3,07 = 3,7761 \text{ m}^2$$

$$A_{2f} = 2,04 * 5,87 = 11,9748 \text{ m}^2$$

5.2.1 Área del timón

Para el cálculo del área se seguirán dos métodos. En el primero se realizará una aproximación mediante las siguientes fórmulas^[5]:

$$A_{1,5\%} = L_{pp} * T$$

$$A_{1,5\%} = 81,659 \text{ m}^2$$

$$A_{2,5\%} = L_{pp} * T$$

$$A_{2,5\%} = 136,099 \text{ m}^2$$

Con $L_{pp} = 270,37 \text{ m}$

$T = 20,13 \text{ m}$



Sabiendo que el valor del área del timón debe estar entre este límite, se pasa a calcular el área por el método siguiente.

Este método se ha establecido mediante el reglamento DNV debido a de igual manera que ha pasado en el caso del cálculo de los huelgos del apartado 5.1, el reglamento empleado para este proyecto no cuenta con ninguna fórmula adecuada al cálculo de esta área^[6].

$$A_{DNV} = 0,01 * L_{pp} * T * \left[1 + 50 * Cb^2 * \left(\frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right]$$
$$A_{DNV} = 113,52 \text{ m}^2$$

Se comprueba que el área se encuentra dentro de los límites establecidos.

$$A_{1,5\%} < A_{DNV} < A_{2,5\%}$$

Para el perfil del timón se ha seleccionado un perfil tipo NACA-XXXX, donde el primer dígito expresa la curvatura máxima en % y el segundo dígito describe la distancia de máxima curvatura desde el borde de ataque en 1/10 del porcentaje de la cuerda. Para los perfiles navales, se escoge el NACA 00, por lo que se trata de un perfil simétrico respecto a su eje longitudinal.

Se trata de un perfil que suministra un gran valor de sustentación además de penalizar de manera más acusada que otros perfiles la resistencia al avance del buque.

5.2.2 Relación de aspecto^[7]

Es el cociente entre la altura y la longitud media del timón, que debe ser cercana a 1,5 (entre 1,4 y 2.0).

- Altura del timón: 10,25 m
- Longitud media: (6,3 + 5,49)/2

Entonces la relación de aspecto es:

$$\tau = \frac{10,25}{5,9} = 1,7$$



Se comprueba que efectivamente, esta relación de aspecto ronda próximo al 1,5.

5.2.3 Relación de compensación^[8]

El área de la pala a proa del eje de giro del timón, será aproximadamente un 20% del área total de la pala.

· Área total: 113,52 m²

· $A_{20\%} = 22,70 \text{ m}^2$

· Área a proa: $A_{1f} + A_{2f} = 15,74 \text{ m}^2$

El área a proa del eje de giro es un poco inferior al 20% del área total, pero se mantiene en ese rango.

5.2.4 Mecha del timón^[9]

$$DM = 83,3 * KR \sqrt[3]{(v + 3)^2 * \sqrt{AR^2 * XP^2 + KN^2}} \text{ (mm)}$$

$$DM = 863,71 \text{ mm}$$

Siendo:

$$KR_{\text{avante}} = 0,248$$

$$KR_{\text{atrás}} = 0,185$$

$$v_{\text{avante}} = 15,5 \text{ kn}$$

$$v_{\text{atrás}} = v/2 = 7,75 \text{ kn}$$

AR: área del timón calculada en el apartado 5.3 [113,52 m²]

$$XP_{\text{avante}} = 0,33 * L_t - XL$$

$$XP_{\text{atrás}} = XA - 0,25 * L_t$$

L_t: Longitud del timón [10,25 m según los planos. Anexo 3]

XL: distancia del eje del timón al borde de proa de este [1,96 m según planos. Anexo 3]

XA: distancia del eje del timón al borde de popa de este [4,34 m según planos. Anexo 3]

KN: coeficiente según la disposición de los pinzotes del timón

$$KN = A_1 (0,67y_1 + 0,17y_2) - A_2 (y_1 + 0,5y_3)$$

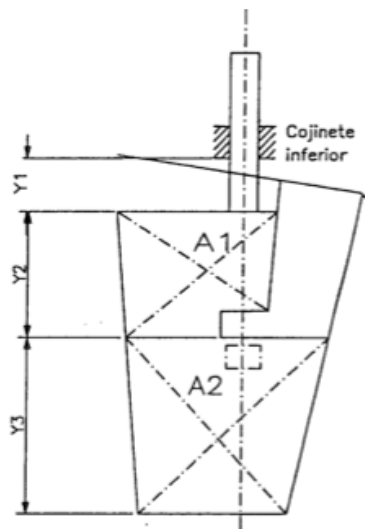


Figura 6. Mecha del timón

6. FUERZA Y PAR TORSOR SOBRE LA PALA DEL TIMÓN

La fuerza y el par torsor sobre el timón se calculan mediante las siguientes fórmulas

6.1. Fuerza sobre el timón^[10]

$$C_{R1} = \frac{C_R * A_1}{A}$$

$$C_{R2} = \frac{C_R * A_2}{A}$$

$$C_R = n * k_R * k_c * k_l * A * v_R^2$$

Donde:

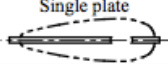
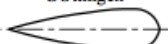
$$n = 0,132$$

$$k_R = \left(\frac{b^2}{A}\right) / 3 = 0,303 \leq 1,33$$

b: altura del timón [10,25 m, Anexo 3]

$k_c = 1,1$ (*avante*) ó $0,8$ (*ciando*) según Tabla 12 para un perfil tipo Naca 00

Tabla 12. Coeficiente k_c

	Profile Type	k_c	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Single plate 	1.0	1.0
2	NACA-00 Göttingen 	1.1	0.80

$k_l = 1,0$ (según Tabla 13)

Tabla 13. Coeficiente k_l

Rudder/Propeller Layout	k_l
Rudders outside propeller jet	0.8
Rudders behind a fixed propeller nozzle	1.15
Steering nozzles and azimuthing thrusters	1.15
All others	1.0

$A = 113,52 \text{ m}^2$ (calculado en el apartado 5.3)

$v_{avante} = 15,5 \text{ kn}$



$$v_{\text{atrás}} = v/2 = 7,75 \text{ kn}$$

Entonces:

$$C_{R\text{avante}} = 0,132 * 0,303 * 1,1 * 113,52 * 1 * 15,5^2 = 1199,8999 \text{ kN}$$

$$C_{R\text{atrás}} = 0,132 * 0,303 * 0,8 * 113,52 * 1 * 7,75^2 = 218,1636 \text{ kN}$$

$$C_{R1\text{avante}} = 200,4662 \text{ kN}$$

$$C_{R1\text{atrás}} = 36,4484 \text{ kN}$$

$$C_{R2\text{avante}} = 269,2761 \text{ kN}$$

$$C_{R2\text{atrás}} = 2,1462 \text{ kN}$$

6.2. Par torsor^[11]

$$Q_R = C_{R1} * r_1 + C_{R2} * r_2$$

$$r_1 = c_1(\alpha_1 - k_1)$$

$$r_2 = c_2(\alpha_2 - k_2)$$

Donde:

$$c_1 = 5,49 \text{ m (según apartado 5.2)}$$

$$c_2 = 6,3 \text{ m (según apartado 5.2)}$$

$$k_1 = \frac{A_1 f}{A_1}$$

$$k_1 = 0,1991$$

$$k_2 = \frac{A_2 f}{A_2}$$

$$k_2 = 0,4700$$

$$A_1 = 4,26 * 4,37 = 18,9658 \text{ m}^2 \text{ (según apartado 5.2)}$$

$$A_2 = 4,26 * 5,87 = 25,4758 \text{ m}^2 \text{ (según apartado 5.2)}$$



$$A_{1f} = 1,23 * 3,07 = 3,7761 \text{ m}^2 \text{ (según apartado 5.2)}$$

$$A_{2f} = 2,04 * 5,87 = 11,9748 \text{ (según apartado 5.2)}$$

$$\alpha_1 = 0,25$$

$$\alpha_2 = 0,55$$

Tabla 14. Ángulo del timón

<i>Rudder Position or High-lift</i>	α	
	<i>Ahead Condition</i>	<i>Astern Condition</i>
Located behind a fixed structure, such as a rudder horn	0.25	0.55
Located where no fixed structure forward of it	0.33	0.75 (hollow profile) 0.66 (non-hollow)
High-Lift Rudders (see 3-2-14/Table 1B)	Special consideration (0.40 if unknown)	Special consideration

Entonces:

$$r_1 = 5,49 * (0,25 - 0,1991)$$

$$r_1 = 0,2744$$

$$r_2 = 6,3 * (0,55 - 0,4700)$$

$$r_2 = 0,5037$$

Y finalmente se tiene que el par torsor será:

$$Q_{Ravante} = 220,46 * 0,2744 + 269,28 * 0,5037$$

$$Q_{Ravante} = 191,6549 \text{ kN.m}$$

$$Q_{Ratrás} = 36,45 * 0,2744 + 2,15 * 0,5037$$

$$Q_{Ratrás} = 11,2641 \text{ kN.m}$$



REFERENCIAS

- [1] JUNCO, Fernando. Fórmula para el cálculo de LCB. Juego típico de dimensiones y coeficientes. En: Proyecto básico de buques y artefactos; apdo. 7.6.9 (Formulario vario para buque de peso muerto); p. 7- 68. Ferrol: Escuela Politécnica Superior, Universidade da Coruña. 2003. ISBN: 84-688-3364-9
- [2] JUNCO, Fernando. Fórmula Mumford para el cálculo de la superficie mojada. Juego típico de dimensiones y coeficientes. En: Proyecto básico de buques y artefactos; apdo. 7.6.9 (Formulario vario para buque de peso muerto); p. 7- 68. Ferrol: Escuela Politécnica Superior, Universidade da Coruña. 2003. ISBN: 84-688-3364-9
- [3] ALVARIÑO CASTRO, R., AZPÍROZ AZPÍROZ J.J., MEIZOSO FERNÁNDEZ, M. Huelgos entre hélice(s) y casco. En: Proyecto básico del buque mercante; c.3.5 (Potencia propulsora); apdo. 3.5.5.2; p. 604. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales. 1997. ISBN: 84-921750-2-8
- [4] AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. Rudders and Stearing Equipment. En Rules for building and classing Steel vessels: p.3; ch. 2; s. 14; p. 154
- [5] ALVARIÑO CASTRO, R., AZPÍROZ AZPÍROZ J.J., MEIZOSO FERNÁNDEZ, M. Área proyectada de la pala. En: Proyecto básico del buque mercante; c.3.6 (Maniobrabilidad); apdo. 3.6.3.; p. 608. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales. 1997. ISBN: 84-921750-2-8
- [6] ALVARIÑO CASTRO, R., AZPÍROZ AZPÍROZ J.J., MEIZOSO FERNÁNDEZ, M. Fórmula del DNV para el área de la pala. En: Proyecto básico del buque mercante; c.3.6 (Maniobrabilidad); apdo. 3.6.3.; p. 608. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales. 1997. ISBN: 84-921750-2-8
- [7] ALVARIÑO CASTRO, R., AZPÍROZ AZPÍROZ J.J., MEIZOSO FERNÁNDEZ, M. Relación de aspecto. En: Proyecto básico del buque mercante; c.3.6 (Maniobrabilidad); apdo. 3.6.3.2; p. 609. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales. 1997. ISBN: 84-921750-2-8
- [8] ALVARIÑO CASTRO, R., AZPÍROZ AZPÍROZ J.J., MEIZOSO FERNÁNDEZ, M. Compensación. En: Proyecto básico del buque mercante; c.3.6 (Maniobrabilidad); apdo. 3.6.3.3; p. 609. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales. 1997. ISBN: 84-921750-2-8
- [9] ALVARIÑO CASTRO, R., AZPÍROZ AZPÍROZ J.J., MEIZOSO FERNÁNDEZ, M. Mecha del timón. En: Proyecto básico del buque mercante; c.3.6 (Maniobrabilidad); apdo. 3.6.3.4.; p. 609. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales. 1997. ISBN: 84-921750-2-8
- [10] AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. Hull structures and Arragement. En Rules for building and classing Steel vessels: p.3; ch. 2; s. 14; p. 151
- [11] AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. Rudder blades with cutouts. En Rules for building and classing Steel vessels: p.3; ch. 2; s. 14; p. 156

ANEXO 1. Buque de referencia



CAPE GARLAND: Second of eleven Dunkerque-max bulkers from Mitsui

Shipbuilder: Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd
Vessel's name: Cape Garland
Hull No.: 1693
Owner/Operator: Ri Shen Shipping Pte. Ltd
Country: Singapore
Designer: Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd
Country: Japan
Model test establishment used: Akishima Laboratory (Mitsui Zosen) Inc
Singapore
Flag: Singapore
IMO number: 9397846
Total number of sister ships already completed (excluding ship presented): 1
Total number of sister ships still on order: 9

Cape Garland is a newly designed Capesize bulk carrier of Dunkerque-max type, designed to suit the restrictions of the French port of Dunkerque. She was delivered to her Owner, Ri Shen Shipping Pte. Ltd of Singapore at Mitsui's Chiba Works on 30 January 2009 and is operated by K-Line.

Cape Garland was designed with double-skin cargo holds for effective cargo handling, easy maintenance of cargo holds and structural safety. Mitsui claims that notwithstanding the double-skin design the cargo capacity of the ship is equivalent to that of conventional capesize bulk carriers with holds bounded by a single skin. The ship was designed in accordance with IACS URS25 so that loading flexibility has been secured and structural safety has been improved.

Suitable arrangement of means of access as required by SOLAS enables safe and effective inspection in cargo holds and ballast tanks and further improvement of safety has been achieved by installation of a forecastle and by application of new requirements concerning reserve buoyancy to the ship.

Separate settling and service tanks for low sulphur HFO and regular HFO are provided to facilitate the changeover between low sulphur HFO and regular HFO in a SOx Emission Control Area. A low sulphur diesel oil tank and regular diesel oil tank are provided for the same reason.

The ship's main engine is a Mitsui-MAN B&W 6S70MC-C diesel, which satisfies International Maritime Organization Environment Standards for Exhaust Gas and achieves improvement of fuel saving

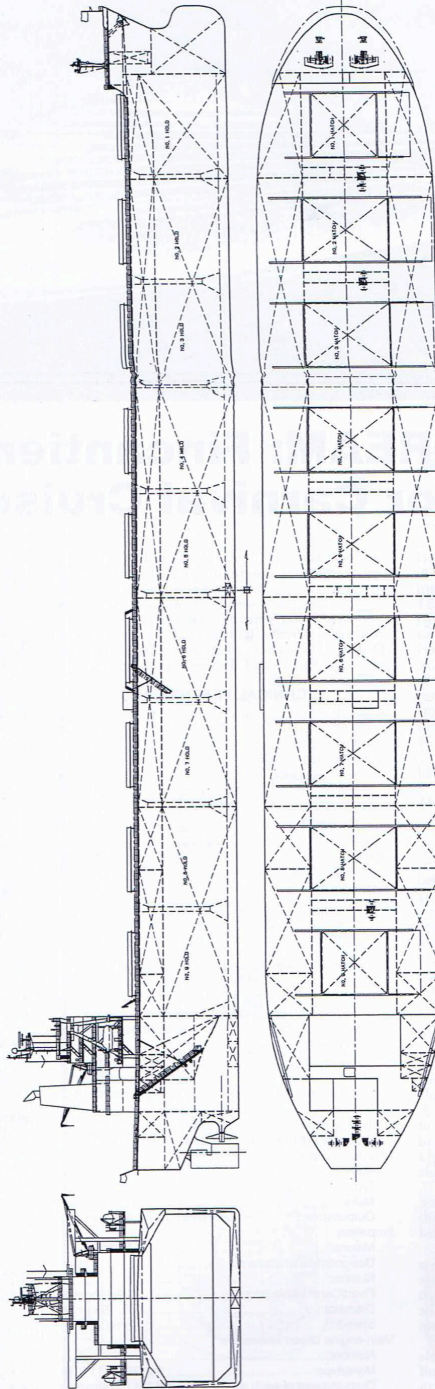
by optimum matching at normal service output. An electronic controlled cylinder oiling system is applied to the main engine achieving operational cost saving. Efficient ballasting and de-ballasting is facilitated by the separation of topside and bottom ballast tanks.

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 292.00m
Length bp: 282.00m
Breadth moulded: 44.98m
Depth moulded to upper deck: 24.70m
Draught:
scantling: 17.95m
design: 16.50m
Gross: 92,278gt
Deadweight (scantling): 178,394dwt
Speed, service: 15.3knots
Cargo capacity:
Grain: 197,392m³
Bunkers:
Heavy oil: 5503m³
Diesel oil: 316m³
Water ballast (m³): 80,089m³
Classification society and notations: Class NK
(Nippon Kaiji Kyokai) NS*, BULK CARRIER - TYPE A, ESP, MNS* (MO) WITH DESCRIPTIVE NOTE "STRENGTHENED FOR HEAVY CARGOES, HOLD NOS. 2, 4, 6 & 8 MAY BE EMPTY"
Main engine:
Design: Mitsui MAN B&W
Model: 6S70MC-C (Mark 7)
Manufacturer: Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd
Number: 1
Type of fuel: HFO
Output: 18,660kW/91min-1
Propeller:
Material: Ni-Al-Bronze
Designer/Manufacturer: Nakashima Propeller
Number: 1
Fixed/Controllable pitch: Fixed pitch
Speed: 91rev/min
Diesel-driven alternators:
Number: 3
Engine make/type: Yanmar Diesel/6EY18AL
Type of fuel: HFO

Output/speed of each set: 660kW/900rev/min
Alternator make/type: Taiyo Electric/FE547A-8
Output/speed of each set: 620kW/900rev/min
Boilers:
Number: 1
Type: Composite
Make: Osaka Boiler
Output: 1600kg/hr (oil fired)/ 1400kg/hr (exhaust gas)
Cargo cranes/cargo gear: None fitted
Other cranes:
Number: 1
Make: Kyoritsu Kikai
Type: Electric driven
Tasks: Provision & machinery parts handling
Performance: 53.9kN x 14m/min.
Mooring equipment:
Number: 8
Make: Nippon Pusnes
Type: Electro-hydraulic
Hatch covers:
Design: MacGREGOR-Kayaba
Manufacturer: MacGREGOR-Kayaba
Type: Side rolling
Ballast control system:
Make: Nakakita
Type: Electro-hydraulic, conventional mimic console
Complement
Officers: 11
Crew: 17
Fire detection system
Make: Nohmi Bosai
Type: FAC551B-25L
Fire extinguishing systems
Cargo holds: Sea water
Engine room: Kashiwa high expansion foam
Cabins: Sea water
Public spaces: Sea water
Radares
Number: 2
Make: JRC
Model(s): 1 x JMA-9132-SA, 1 x JMA-9122-6XA
Waste disposal plant
Incinerator: Sunflame OSV-600SAI
Contract date: 26 December 2005
Launch/float-out date: 25 November 2008
Delivery date: 30 January 2009

CAPE GARLAND





ANEXO 2. Project Guide



MAN B&W K98ME-C7-TII

Project Guide

Electronically Controlled Two-stroke Engines

This Project Guide is intended to provide the information necessary for the layout of a marine propulsion plant.

The information is to be considered as **preliminary**. It is intended for the project stage only and subject to modification in the interest of technical progress. The Project Guide provides the general technical data available at the date of issue.

It should be noted that all figures, values, measurements or information about performance stated in this project guide are **for guidance only** and should not be used for detailed design purposes or as a substitute for specific drawings and instructions prepared for such purposes.

Data updates

Data not finally calculated at the time of issue is marked 'Available on request'. Such data may be made available at a later date, however, for a specific project the data can be requested. Pages and table entries marked 'Not applicable' represent an option, function or selection which is not valid.

The latest, most current version of the individual Project Guide sections are available on the Internet at: www.mandieselturbo.com under 'Products' → 'Marine Engines & Systems' → 'Low Speed'.

Extent of Delivery

The final and binding design and outlines are to be supplied by our licensee, the engine maker, see Chapter 20 of this Project Guide.

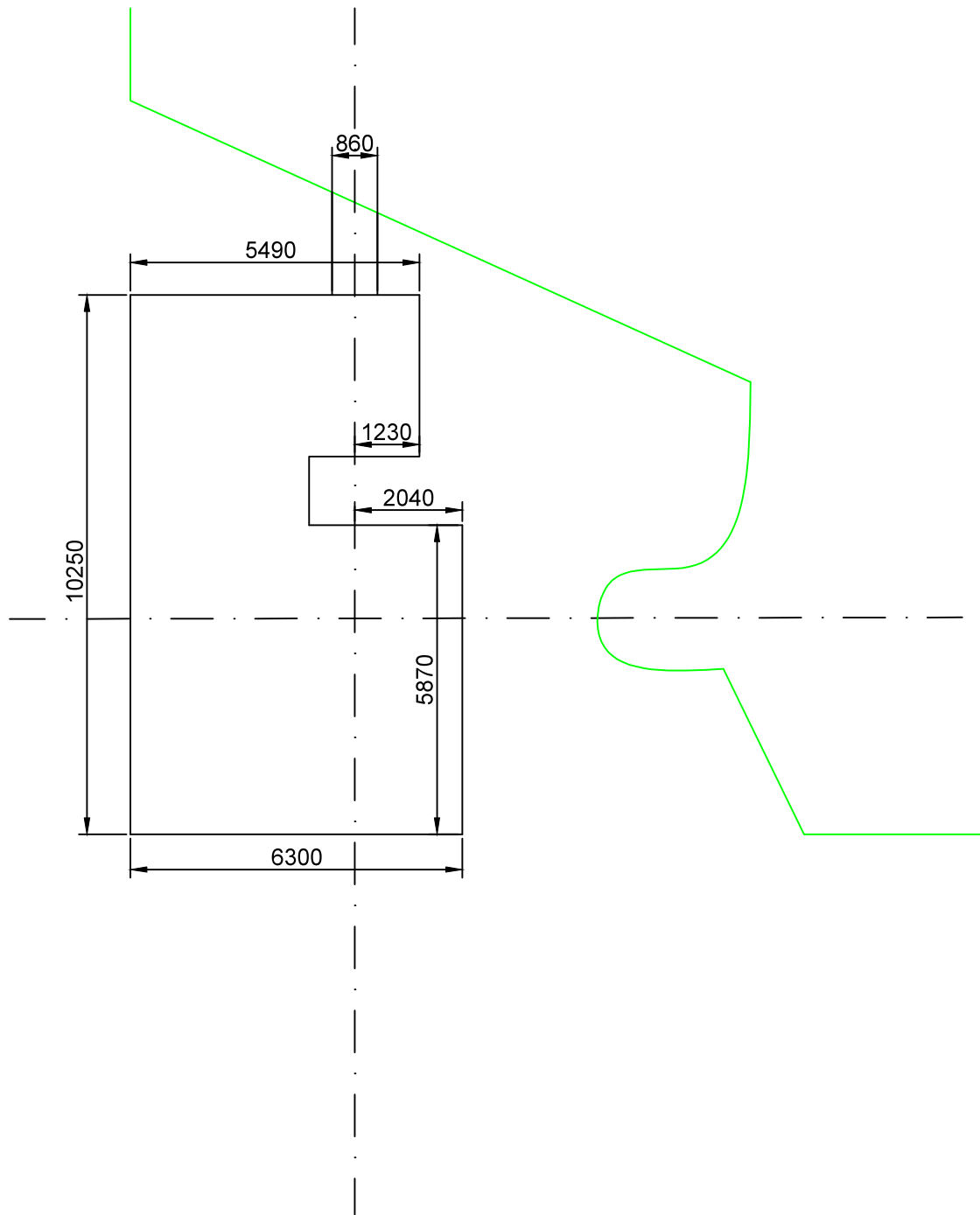
In order to facilitate negotiations between the yard, the engine maker and the customer, a set of 'Extent of Delivery' forms is available in which the basic and the optional executions are specified.

Electronic versions

This Project Guide book and the 'Extent of Delivery' forms are available on a DVD and can also be found on the Internet at: www.mandieselturbo.com under 'Products' → 'Marine Engines & Systems' → 'Low Speed', where they can be downloaded.

1st Edition

April 2010



PROYECTO 13-P3

BULKCARRIER 175 000 TPM



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCALA:

1/200

PLANO:

TIMÓN

HOJA:

1 de 1

ALUMNA:

ALEJANDRA CAAMAÑO PESTONIT